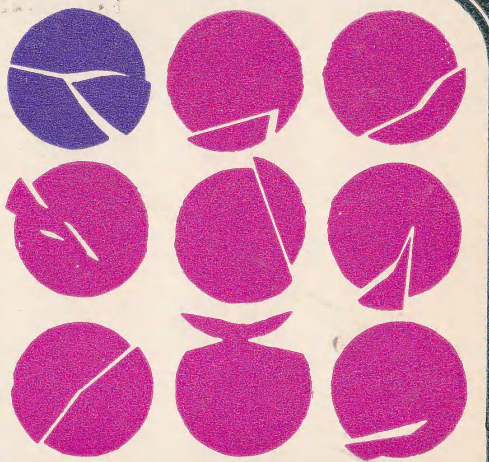
Fizica atomică și cunoașterea umană

NIELS BOHR



NIELS BOHR

ATOMIC PHYSICS AND HUMAN KNOWLEDGE

Copyright © 1958 by Niels Bohr, New York. John Wiley & Sons, Inc

Fizica atomică și cunoașterea umană

NIELS BOHR

Cu un *Cuvînt înainte* de:
prof. dr. docent **RADU ȚIȚEICA**

București 1969 EDITURA ȘTIINȚIFICĂ

În românește de **M. SABĂU și S. APOSTOLESCU**

Cuvînt înainte

Primele lucrări ale fizicianului danez Niels Bohr, apărute în anul 1913, au revoluționat ideile asupra structurii atomului și asupra procesului emisiei de radiații de către atomii excitați în urma primirii de energie datorită unei cauze exterioare. Folosind concepția lui Rutherford, conform căreia un atom este alcătuit dintr-un nucleu încărcat cu o sarcină electrică pozitivă, în jurul căreia se rotesc electroni încărcați negativ, precum și ideile lui Planck asupra emisiei și absorbției de radiații prin pachete discrete numite cuante de radiație, Bohr pe de o parte a arătat că electronii atomici nu pot descrie orice orbită în jurul nucleului, iar pe de altă parte a regăsit regula de distribuție a liniilor spectrale în spectrul hidrogenului, care alcătuiesc un ansamblu numit seria Balmer. În lucrările sale, Bohr a folosit legile cunoscute ale mecanicii newtoniene și ale electromagnetismului clasic, pe care le-a îngrădit impunîndu-le anumite condiții, numite condiții de cuantificare. Pe drumul deschis de Bohr și generalizînd ipotezele și metodele sale de lucru, în anii imediat următori, o serie de fizicieni, între care merită, în primul rînd, să fie menționat Sommerfeld, au pus bazele unui capitol al fizicii teoretice, numit, azi, mecanica cuantică veche.

Încă de la început, principala direcție în care poate fi criticată mecanica cuantică veche, a fost caracterul ei mixt, faptul că peste relații și legi care aparțin mecanicii clasice, eventual chiar mecanicii relativității restrînse, se aplică condiții de cuantificare, cu totul străine concepțiilor mecanicii, fără ca aceste condiții să aibă altă justificare decît aceea de a conduce la rezultate verificabile

experimental. De asemenea, însăşi concepţia iniţială a lui Planck, precizată de Einstein şi folosită de Bohr, privind valoarea energiei care corespunde unei cuante de radiaţie, conţine o contradicţie internă. Conform acestei concepţii, radiaţia se propagă sub formă de corpuscule, cuantele, dar energia transportată de o cuantă este $E = h\nu$, ν fiind frecvenţa radiaţiei. Noţiunea de cuantă de radiaţie apare astfel, mixtă, corpuscular-ondulatorie. Mecanica cuantică veche are un caracter eterogen, neînchegat logic.

Această situaţie s-a schimbat în urma introducerii, de către de Broglie, în 1924, a ideii aspectului dublu, corpuscular şi ondulatoriu, al obiectelor la scara atomică. Fundamentul teoriei lui de Broglie l-au constituit două principii variaţionale, formal echivalente. Unul, principiul minimei acţiuni din mecanică, determină traiectoria descrisă de un mobil între două poziţii ca fiind aceea în lungul căreia o mărime numită acţiune, legată de energia mobilului, este minimă. Celălalt, principiul lui Fermat din optică, determină drumul urmat de lumină între două puncte, ca fiind acela care este parcurs în timpul minim. În teoria ondulatorie a luminii, principiul lui Fermat apare ca o primă aproximaţie, valabilă în măsura în care nu joacă vreun rol fenomenele de interferenţă şi de difracţie, deci în cazul opticii geometrice. Exploatînd paralelismul care există între legile mecanicii clasice şi cele ale opticii geometrice, în formularea variaţională, şi aplicînd-o în cazul microobiectelor, de Broglie a arătat că un corp de dimensiuni atomice, un microobiect, se prezintă fie ca un corpuscul care urmează principiul minimei acţiuni, fie ca un pachet de unde pentru care sînt valabile legile opticii. Studiul evoluţiei microobiectului, în aproximaţia analogă opticii geometrice, se face după legile mecanicii clasice. Însă o tratare corectă a evoluţiei microobiectelor nu se poate face decît ţinînd seama de aspectul ondulatoriu.

Folosind concepţia introdusă de către de Broglie, s-a dezvoltat o nouă formă a mecanicii cuantice care, apoi, s-a extins, înglobînd şi ideile relativiste, şi şi-a lărgit domeniul de aplicaţii. Fundamentele mecanicii cuantice noi, începînd din jurul anului 1926, au fost puse în primul rînd de către Schrödinger, Born şi Heisenberg, Dirac şi alţii. În forma sa ondulatorie, această mecanică urmă-

reşte evoluţia unui microobiect prin intermediul unei ecuaţii cu derivate parţiale. Un prim pas înainte, realizat pe această cale, este acela care reprezintă introducerea logică a condiţiilor de cuantificare. Acestea sînt condiţiile care trebuie impuse unor parametri din ecuaţie pentru ca funcţia a cărei variaţie este descrisă de ecuaţia respectivă, să poată avea un sens fizic. Această funcţie, numită funcţie de undă, este legată de probabilitatea prezenţei, într-un anumit loc şi într-un anumit moment, a microobiectului cercetat. Mecanica cuantică nouă conduce, deci, la concluzia neaşteptată că din condiţii iniţiale determinate nu rezultă o poziţie certă, la un moment dat, pentru microobiectul urmărit, ci că acesta are numai o probabilitate, mai mare sau mai mică, de a se găsi într-un anumit punct.

Această concluzie atrage după sine renunţarea la un determinism riguros în urmărirea evoluţiei microobiectelor, acestei evoluţii neputîndu-i fi aplicat decît un determinism statistic.

Un alt rezultat al mecanicii cuantice noi a fost acela cristalizat sub forma principiului impreciziei. Unui microobiect îi pot fi ataşate mărimi (coordonatele poziţiei momentane, viteza, energia etc.) ale căror valori, care variază în cursul evoluţiei microobiectului, nu sînt determinate decît statistic, împrăştierile statistice respective satisfăcînd anumite relaţii, numite relaţii de imprecizie ; de exemplu, produsul împrăştierilor statistice ale valorilor coordonatei de poziţie şi vitezei este mai mare decît o anumită valoare, legată de constanta h (numită cuantă de acţiune) din formula lui Planck care exprimă energia transportată de o cuantă de radiaţie.

Aspectul dublu, corpuscular şi ondulatoriu, al unui microobiect conduce şi la faptul că microobiectele se manifestă diferit după condiţiile în care sînt puse.

Toate aceste consecinţe pun probleme filozofice foarte complicate şi importante şi au condus la luare de atitudini, din partea diferitelor şcoli de fizică teoretică, care păreau, la un moment dat, ireconciliabile. Fără ca deosebirile de puncte de vedere să fi dispărut cu totul, este interesant de semnalat că adeseori contradicţia s-a datorat mai de grabă unei neînţelegeri decît unei opoziţii princi-

piale. În primul rînd, a apărut repede imposibilitatea, în mecanica cuantică, a unei reprezentări prin imagini, adică imposibilitatea folosirii unor modele. În al doilea rînd, și Bohr atrage adeseori atenția asupra acestui lucru, controversele au fost datorite faptului că limbajul obișnuit este neadecvat pentru descrierea fenomenelor la scara cuantică. Astfel, el scrie (p. 84) : „Eu am reamintit... cu fermitate, însemnătatea unei atenții deosebite în privința tuturor problemelor de terminologie și dialectică" și, mai departe : „În legătură cu aceasta, am luptat, în special, contra unor fraze, care se găsesc adesea în literatura de fizică, de tipul «perturbarea fenomenelor prin observare» sau «crearea de atribute fizice la obiectele atomice prin măsurători». Astfel de fraze, ce pot servi pentru a reaminti paradoxurile aparente din teoria cuantică, sînt în același timp capabile să producă confuzii, deoarece cuvinte de tipul «fenomene» și «observații» ca și «atribute și măsurători» sînt folosite într-un sens compatibil numai cu limbajul obișnuit și cu definiția curentă"

Chiar conștienți de posibilitățile de neînțelegere externe conținutului adînc al noțiunilor din fizica cuantică, fizicienii totuși, nu au ajuns la un punct de vedere unitar. De altfel, într-unul din capitolele cele mai interesante ale lucrării de față, „Convorbiri cu Einstein asupra problemelor epistemologice din fizica atomică", pot fi urmărite modificările de concepție atît în urma descoperirii unor fapte noi și a aprofundării metodelor de investigație, cît și în urma schimbului de idei. Evoluția ideilor în acest domeniu al fizicii este deosebit de interesantă și, în capitolele succesive, se urmărește luarea de poziție de către Bohr. Deseori, în descrierea diferitelor posibilități de interpretare a rezultatelor fizicii cuantice, se discută atitudinea luată de Școala de la Copenhaga, condusă de Bohr, în special în problema determinismului. Această atitudine apare, de exemplu, în următorul fragment (p. 97) : „Faptul că, în general, unul și același aranjament experimental poate da rezultate diferite este uneori plastic exprimat ca fiind «alegerea făcută de natură» între aceste posibilități" ; și, mai departe : „Aici deducțiile logice nu permit mai mult decît obținerea probabilităților relative de apariție a fenomenelor individuale în anumite condiții experimentale date.

Mecanica cuantică apare astfel ca o generalizare consistentă a modului de descriere mecanic-determinist pe care îl conține ca o limită asimptotică în cazul fenomenelor fizice care au loc la o scară destul de mare pentru a putea neglija cuanta de acțiune".

S-a reproșat lui Bohr de a fi negat determinismul. Atitudinea lui și mai ales schimbările suferite rezultă foarte bine din convorbirile cu Einstein.

Citirea lucrării de față conduce la impresia că, deși atitudinile, din punctul de vedere filozofic, ale diferitelor școli de fizică au fost, la un moment dat, diferite, discuțiile purtate în trecut și care continuă încă, vor duce la stabilirea adevărului.

Lărgind domeniul preocupărilor, Bohr, în alte conferințe cuprinse în cartea de față, încearcă să extindă concluziile obținute în studiul fizicii atomice altor domenii de activitate umană, pînă la biologie și psihologie. În această privință, este interesant de citat următorul fragment în care sînt precizate părerile sale (p. 118) : „Lecția epistemologică pe care ne-a dat-o fizica atomică — asemănătoare cu situații întîlnite mai înainte în dezvoltarea fizicii — ne obligă la reconsiderarea utilizării mijloacelor noastre de comunicare pentru o descriere obiectivă în alte domenii ale cunoașterii". Și, mai departe : „Dacă era posibil într-o oarecare măsură ca în cadrul fizicii clasice să comparăm organismele cu mașini, era totuși evident că astfel de comparații nu pot să țină seama de multe dintre caracteristicile vieții. Insuficiența concepției mecaniciste asupra naturii în descrierea poziției omului este deosebit de evidentă în dificultățile legate de distincția primitivă dintre suflet și corp".

Oricare ar fi, și în această direcție, părerile lui Bohr și oricît s-ar putea discuta asupra lor, personalitatea lui este o chezășie că aceste discuții vor fi utile.

Prof. dr. docent
RADU ȚIȚEICA

Prefață

Această culegere de articole, scrise cu diferite ocazii în ultimii 25 de ani, formează o continuare la alte articole, mai vechi, publicate de Editura Universității din Cambridge, în 1934, într-un volum cu titlul *Teoria Atomică și Descrierea Naturii*. Subiectul articolelor îl constituie învățămintele epistemologice care pot fi trase din dezvoltarea fizicii atomice și modul în care aceasta a elaborat o metodă de analiză și sinteză folosită azi în multe domenii ale cunoașterii umane. Articolele din ediția precedentă au fost scrise într-un moment în care mecanica cuantică crease deja fundamentele pentru o tratare consistentă a fenomenelor atomice și condițiile pentru tratarea neechivocă a experienței în acest cadru erau caracterizate de noțiunea de complementaritate. În articolele strînse în această carte se urmărește aceeași linie, însă cu o mai largă aplicare. Desigur, repetările au fost inevitabile, dar sperăm că aceasta ar putea să servească la clarificarea gradată a argumentației, în special în ceea ce privește o terminologie mai concisă.

În dezvoltarea acestor idei, au fost foarte prețioase pentru mine discuțiile cu colaboratori mai noi sau mai vechi ai Institutului de Fizică Teoretică al Universității din Copenhaga. Aduc pe această cale mulțumiri pentru ajutorul dat în elaborarea acestor articole lui Oskar Klein și Léon Rosenfeld, care acum se află la Universitățile din Stockholm și Manchester, ca și lui Stefan Rozental și Aage Petersen de la Institutul din Copenhaga. Doresc de

asemenea să exprim mulțumiri doamnei S. Hellmann pentru ajutorul său efectiv în pregătirea articolelor și a ediției de față.

NIELS BOHR

Copenhaga
August 1957

Introducere

Importanța fizicii în dezvoltarea gîndirii filozofice generale constă nu numai în contribuțiile sale la creșterea atît de rapidă a cunoștințelor noastre despre natura din care și noi facem parte, dar și prin ocaziile pe care din cînd în cînd le oferă pentru examinarea și rafinarea instrumentelor noastre de investigație. În secolul nostru, studiul structurii atomice a materiei a pus în evidență o limitare cu totul neașteptată a noțiunilor din fizica clasică și a aruncat o lumină nouă asupra necesităților explicației științifice în cadrul filozofiei tradiționale. Revizuirea modului în care se face aplicarea noțiunilor noastre elementare, absolut necesară pentru înțelegerea fenomenelor atomice, are deci efecte ce depășesc domeniul special al fizicii.

Partea principală a lecției oferite de dezvoltarea fizicii atomice este, după cum se știe, recunoașterea unui aspect de completitudine în procesele atomice, pus în evidență de descoperirea cuantei de acțiune. Articolele din această carte prezintă aspectele esențiale din fizica cuantică și, în același timp, subliniază asemănările pe care le prezintă pentru poziția noastră în alte domenii ale cunoașterii, dincolo de concepțiile mecaniciste asupra naturii. Nu vom avea de a face aici cu analogii mai mult sau mai puțin vagi, ci cu o investigare a condițiilor de folosire a mijloacelor noastre de expresie. Astfel de considerații nu numai că ne familiarizează cu o situație nouă în fizică, ci ar putea, pe baza caracterului relativ simplu al problemelor din fizica atomică, să fie folositoare în clarificarea condițiilor pentru o descriere obiectivă în domenii mai largi.

Deşi cele şapte eseuri înmănuncheate în carte sînt înrudite ca temă, ele se împart în trei grupe separate după cum au fost scrise în anii 1932—1938, 1949 şi respectiv, 1954—1957. Primele trei articole discută problemele biologice şi antropologice care se referă la aspectul completitudinii prezentat de organismele vii şi culturile umane. Nu se încearcă, desigur, să se facă o tratare exhaustivă a acestor probleme, ci numai se indică modul în care ele prezintă analogii cu concluziile generale ale fizicii atomice.

Cel de al patrulea articol se ocupă cu discuţiile dintre fizicieni în legătură cu problemele epistemologice ridicate de fizica cuantică. Datorită specificului problemei, au fost inevitabile anumite referiri la instrumentul matematic, dar înţelegerea argumentelor nu necesită cunoştinţe speciale. Dezbaterea a condus la o clarificare a noilor aspecte ale problemei observaţiei, implicate de faptul că interacţiunea dintre obiectele atomice şi instrumentele de măsură formează o parte integrantă a fenomenelor cuantice. De aceea, informaţiile căpătate cu ajutorul diferitelor aranjamente experimentale nu pot fi înţelese pe căile obişnuite. Necesitatea de a lua în considerare condiţiile în care s-a efectuat experienţa cere neapărat modul de descriere complementar.

Ultimul grup de articole este strîns legat de primul, dar sperăm că terminologia îmbunătăţită folosită pentru prezentarea situaţiei în fizica cuantică a făcut mult mai accesibilă argumentarea generală. În aplicarea ei la problemele cu scop mai larg, se accentuează în mod special necesitatea folosirii neechivoce a noţiunilor care descriu experienţa. Miezul argumentării este că pentru o descriere obiectivă şi o înţelegere armonioasă aproape în orice domeniu al cunoaşterii este necesar să acordăm atenţie împrejurărilor în care s-a obţinut informaţia respectivă.

I

Lumina și viața

1932

Ca fizician, ale cărui studii sînt limitate la proprietățile corpurilor neînsufleţite, am avut oarecari ezitări înainte de a accepta amabila invitaţie de a mă adresa acestei adunări de oameni de ştiinţă, întruniţi aici pentru a lua cunoştinţă de efectele binefăcătoare ale luminii în tratarea bolilor. Deoarece sînt incapabil de a contribui la această frumoasă ramură a ştiinţei care este atît de importantă pentru bunăstarea omenirii, m-aş rezuma numai la fenomenele luminoase pur anorganice, care au exercitat o atracţie deosebită asupra fizicianului de-a lungul veacurilor, mai ales prin faptul că lumina este principalul nostru instrument de observaţie. În ciuda subtilităţilor pe care enigmele vieţii le prezintă, esenţa explicaţiei ştiinţifice, în orice stadiu al ştiinţei, constă în analiza fenomenelor mai complexe cu ajutorul altora mai simple. În momentul de faţă, limitarea esenţială a posibilităţilor de descriere mecanicistă a fenomenelor naturale, pusă în evidenţă de ultimele descoperiri ale teoriei atomice, este aceea care a pus într-o lumină nouă o problemă veche. Această cotitură în fizică îşi are originea într-un studiu mai atent al interacţiunii dintre lumină şi corpurile materiale, interacţiune ce prezintă aspecte care contrazic anumite cerinţe considerate pînă acum indispensabile într-o argumentaţie de fizică. După cum voi încerca să arăt, eforturile fizicienilor de a ieşi din această situaţie seamănă într-un anumit fel cu atitudinea faţă de aspectele vieţii, luată întotdeauna mai mult sau mai puţin intuitiv de către biologi. Vreau să subliniez din capul locului că numai din acest punct de vedere formal, lumina, care este pro-

babil cel mai puțin complex dintre toate fenomenele fizice, are o analogie cu viața, care prezintă o diversitate pînă dincolo de puterea de analiză științifică.

Din punct de vedere fizic, lumina poate fi privită ca transmitere de energie între corpuri materiale la distanță. După cum se știe, aceste efecte își găsesc o explicație simplă în teoria electromagnetică, care poate fi privită ca o extindere rațională a mecanicii clasice, astfel întocmită încît să atenueze contrastul dintre acțiunea la distanță și cea prin contact. Conform acestei teorii, lumina este considerată ca o serie de oscilații electrice și magnetice cuplate, diferînd de undele electromagnetice ale transmisiilor radiofonice obișnuite numai printr-o frecvență de vibrație mai mare și, deci, o lungime de undă mai mică. De fapt, propagarea practic rectilinie a luminii, pe care se bazează localizarea corpurilor prin vizare directă, sau prin instrumente optice obișnuite, depinde în întregime de micimea lungimii de undă în comparație cu dimensiunile corpurilor și ale instrumentelor respective. În același timp, caracterul ondulatoriu al propagării luminii, nu numai că formează baza pentru explicarea culorilor, care prin spectroscopie duc la informații prețioase asupra structurii corpurilor, dar este esențială pentru orice analiză rafinată a fenomenelor optice. Ca un exemplu tipic aș putea menționa franjele de interferență care apar atunci cînd lumina unei surse ajunge la un ecran pe două căi diferite. Găsim că efectele care se produc prin suprapunerea a două fascicule separate de lumină se intensifică în acele puncte ale ecranului în care fazele celor două trenuri de unde coincid, adică acolo unde oscilațiile electrice și magnetice în cele două fascicule au același sens, în timp ce efectele sînt slăbite și chiar pot să dispară în punctele în care oscilațiile au sensuri contrare și unde se spune că trenurile de unde sînt în discordanță de fază. Aceste franje de interferență sînt o probă atît de convingătoare a aspectului ondulatoriu al propagării luminii, încît această imagine nu poate fi considerată pur și simplu o ipoteză, în sensul obișnuit al cuvîntului, ci poate fi privită mai degrabă ca un aspect real al fenomenelor observate.

După cum știți, problema naturii luminii a fost supusă unor noi discuții în ultimii ani, pe baza descoperirii as-

pectului fundamental al atomicității în mecanismul transmiterii energiei, care este cu totul de neînțeles din punctul de vedere al teoriei electromagnetice. Orice transfer de energie prin lumină poate fi redus la procese individuale în care se schimbă o așa-numită cuantă de lumină, a cărei energie este egală cu produsul dintre frecvența oscilațiilor electromagnetice și cuanta de acțiune universală, sau, cum mai este numită, constanta lui Planck. Contrastul evident dintre atomicitatea efectului luminos și continuitatea transferului de energie în teoria electromagnetică ne pune față în față cu o dilemă al cărei caracter este pînă acum necunoscut în fizică. Astfel, în ciuda insuficienței ei, nici nu se poate pune problema înlocuirii imaginii ondulatorii a propagării luminii cu o altă imagine bazată numai pe considerații mecanice obișnuite. Trebuie subliniat, îndeosebi, că cuantele de lumină nu pot fi privite ca particule la care să se atașeze traiectorii în sensul mecanicii clasice. După cum figura de interferență dispare complet atunci cînd, încercînd să ne convingem că energia luminoasă se propagă numai de-a lungul uneia din cele două parcursuri între sursă și ecran, am opri unul din fascicule cu un corp opac, tot așa este imposibil în orice fenomen pentru care structura ondulatorie a luminii este esențială, să trasăm parcursul unei cuante individuale, fără să perturbăm fenomenul cercetat. Într-adevăr, continuitatea spațială a imaginii noastre asupra propagării luminii și atomicitatea efectelor luminoase sînt aspecte complementare, în sensul că ele descriu comportări egal de importante ale fenomenelor luminoase, care nu pot fi aduse niciodată în contradicție una cu alta, deoarece analiza lor mai atentă din punct de vedere mecanic necesită aranjamente experimentale reciproc exclusive. În același timp, însăși această situație ne forțează să renunțăm la o descriere riguroasă a fenomenelor luminoase și să ne mulțumim cu legi probabilistice bazate pe faptul că descrierea electromagnetică a transferului de energie rămîne valabilă într-un sens statistic. Aceasta formează o aplicare tipică a așa-numitului principiu de corespondență, care exprimă încercarea de a utiliza cu maximă generalizare concepțiile teoriilor clasice ale mecanicii și electrodinami-

cii, în ciuda constrastului dintre aceste teorii și cuanta de acțiune.

Această situație poate părea foarte incomodă la început, dar, așa cum s-a întîmplat adesea în știință, cînd noile descoperiri au dus la recunoașterea unor limitări esențiale a noțiunilor pînă atunci considerate ca indispensabile, sîntem răsplătiți prin faptul că obținem o vedere mai largă și o putere mai mare de a corela fenomenele care pînă atunci ar fi putut părea contradictorii. Într-adevăr, limitarea mecanicii clasice simbolizată prin cuanta de acțiune ne-a oferit o cheie pentru înțelegerea stabilității intrinseci a atomilor, pe care se bazează descrierea mecanică a fenomenelor naturale. Aspectul fundamental al teoriei atomice a constat întotdeauna în faptul că indivizibilitatea atomilor nu poate fi înțeleasă mecanic și această situație a rămas practic neschimbată chiar după ce indivizibilitatea atomilor a fost înlocuită cu cea a particulelor elementare încărcate electric, adică electronii și protonii, din care sînt construiți atomii și moleculele. Mă refer acum nu la problema stabilității intrinseci a acestor particule elementare, ci la aceea a structurilor atomice compuse din ele. Dacă atacăm această problemă din punctul de vedere al mecanicii sau al teoriei electromagnetice, nu găsim o bază suficientă pentru explicarea proprietăților specifice ale elementelor și nici chiar a existenței corpurilor solide, folosite în toate măsurătorile pentru localizarea fenomenelor în spațiu și timp. Aceste dificultăți sînt acum depășite prin recunoașterea că orice schimbare bine definită a unui atom este un proces individual, constînd dintr-o tranziție completă a atomului dintr-una din așa-numitele sale stări staționare, în alta. Mai mult decît atît, deoarece într-o asemenea tranziție, prin care lumina este emisă sau absorbită de atom, se schimbă numai o cuantă de lumină, sîntem capabili ca prin observații spectroscopice să măsurăm direct energia fiecăreia din aceste stări staționare. Informațiile astfel obținute au fost foarte bine corelate cu studiul schimbărilor de energie, care au loc în ciocnirile atomice și în reacțiile chimice.

În ultimii ani a avut loc o dezvoltare remarcabilă a mecanicii atomice pe baza principiului de corespondență, care ne-a înzestrat cu metode eficace pentru calculul ener-

giilor stărilor staţionare în atomi şi a probabilităţilor proceselor de tranziţie. Aceasta face ca explicaţia noastră asupra proprietăţilor atomice să fie la fel de cuprinzătoare ca şi coordonarea unei experienţe astronomice în mecanica newtoniană. În ciuda complexităţii mai mari a problemelor generale ale mecanicii atomice, învăţămintele trase din analiza celor mai simple efecte luminoase au fost deosebit de importante pentru această dezvoltare. Astfel, folosirea neechivocă a noţiunii de stare staţionară se află în complementaritate cu analiza mecanică a mişcării intraatomice, similară cu complementaritatea dintre cuantele de lumină şi teoria electromagnetică a radiaţiei. Într-adevăr, orice încercare de a urmări desfăşurarea detaliată a unui proces de tranziţie ar implica un schimb necontrolabil de energie între atom şi instrumentele de măsură, schimb care tulbură însuşi bilanţul de energie pe care ne propunem să-l cercetăm. Corelarea mecanică cauzală a datelor din experienţă poate fi realizată numai în cazul în care acţiunea ce intră în joc este mare în comparaţie cu cuanta elementară şi cînd este posibilă astfel subdivizarea fenomenelor. Dacă această condiţie nu este satisfăcută, acţiunea aparatelor de măsură asupra fenomenului de cercetat nu poate fi neglijată şi va implica o excludere reciprocă a diferitelor tipuri de informaţii necesare pentru o descriere mecanică completă de tip clasic. Această incompletitudine aparentă a analizei mecanice a fenomenelor atomice, decurge în ultimă instanţă din ignorarea interacţiunii dintre obiect şi aparatele de măsură, inevitabilă în orice experiment. Aşa cum noţiunea generală de relativitate exprimă dependenţa esenţială a oricărui fenomen de sistemul de referinţă folosit pentru determinarea lui în timp şi în spaţiu, noţiunea de complementaritate serveşte la limitarea fundamentală cu care avem de-a face în fizica atomică — existenţa obiectivă a fenomenelor, independent de mijloacele de observaţie.

Această revizuire a fundamentelor mecanicii, afectînd însăşi explicarea fizică, este importantă nu numai pentru aprecierea situaţiei în teoria atomică, dar creează de asemenea o nouă bază de discuţie asupra problemelor vieţii în contactul lor cu fizica. Aceasta nu înseamnă că în fizica atomică întîlnim aspecte care să prezinte asemănări

cu organismele vii mai evidente ca în fizica clasică. La prima vedere, caracterul statistic al mecanicii atomice pare să fie în contradicție cu organizarea rafinată și minunată a ființelor vii. Trebuie, însă, să ținem seama că tocmai acest mod complementar de descriere face loc unor regularități în procesele atomice care sînt străine fizicii, însă foarte importante pentru explicarea comportării organismelor vii și a proprietăților specifice materiei anorganice. Astfel, în asimilarea carbonului de către plante, de care depinde atît de mult și hrana animalelor, avem de-a face cu un fenomen pentru înțelegerea căruia individualitatea proceselor fotochimice este esențială. În același fel, stabilitatea nemecanică a structurilor atomice are o influență evidentă asupra proprietăților unor combinații chimice complexe, ca clorofila și hemoglobina, care joacă un rol fundamental în mecanismul asimilării plantelor și respirației animalelor. Analogii din experiența chimică cum ar fi vechea comparație dintre foc și viață, nu vor mai da, desigur, o explicație satisfăcătoare a organismelor vii, la fel ca și asemănarea organismelor cu alcătuiri mecanice de tipul unui mecanism de ceasornic. Într-adevăr, caracteristicile esențiale ale materiei vii trebuie căutate într-o organizare particulară, în care aspectele ce pot fi analizate cu mecanica uzuală sînt întrepătrunse cu aspectele tipic atomiste, într-un mod cu totul diferit de materia neînsufletită.

O exemplificare instructivă a gradului de dezvoltare a acestei organizări este construcția și funcționarea ochiului, pentru explorarea căruia simplitatea fenomenelor luminoase a fost foarte folositoare. Nu voi intra în detalii, ci doar vă voi aminti cum oftalmologia ne-a relevat proprietățile ideale ale ochiului omenesc ca instrument optic. Într-adevăr, limita de rezoluție la formarea imaginii, impusă de inevitabilele efecte de interferență, coincide practic cu dimensiunea acelor fragmente de retină care au legătură nervoasă separată cu creierul. Mai mult decît atît, deoarece absorbția unei singure cuante de lumină de către fiecare din aceste fragmente retinale este suficientă pentru a crea senzația de vedere, se poate spune că sensibilitatea ochiului a atins limitele impuse de caracterul atomic al proceselor luminoase.

Eficacitatea ochiului este în ambele privinţe ca aceea obţinută cu un bun microscop sau telescop conectat cu un amplificator astfel ajustat ca să facă observabile procesele individuale. Este adevărat că putem creşte puterea noastră de observaţie cu asemenea instrumente, dar, datorită limitelor impuse de proprietăţile fundamentale ale fenomenelor luminoase, nu se poate imagina nici un instrument care să fie mai eficace,, pentru scopurile sale, ca ochiul. Această sensibilitate ideală a ochiului, confirmată de ultimele descoperiri din fizică, sugerează ideea că şi alte organe, fie că servesc la receptarea informaţiilor din exterior, fie că lucrează sub acţiunea simţurilor, vor prezenta adaptări speciale pentru funcţia pentru care s-au specializat. De asemenea, aspectul individualităţii, simbolizat de cuanta de acţiune este de importanţă decisivă în legătură cu un anumit mecanism de amplificare. Faptul că pînă acum s-a reuşit să se stabilească această limită la ochi şi nu la alte organe se datoreşte simplităţii extreme a fenomenelor luminoase, la care ne-am referit mai sus.

Recunoaşterea importanţei esenţiale a fenomenelor atomice în mecanismul organismelor vii nu este de loc suficientă pentru o explicare cuprinzătoare a fenomenelor biologice. De aceea, problema care se pune este dacă se pierd anumite aspecte fundamentale în analiza fenomenelor naturale, înainte de a ajuta la înţelegerea vieţii pe baza experienţei fizice. În ciuda faptului că fenomenele biologice complexe sînt practic inepuizabile, se poate da greu un răspuns la această întrebare fără o examinare a semnificaţiei ce trebuie dată explicării fizice, care să fie mai profundă decît cea la care ne-a condus descoperirea cuantei de acţiune. Pe de o parte, aspectele interesante oferite de cercetările fiziologice, care diferă atît de net de proprietăţile materiei anorganice, au condus pe biologi la concluzia că nu se poate ajunge la o înţelegere a aspectelor esenţiale ale vieţii în termeni pur fizici. Pe de altă parte, concepţia cunoscută sub numele de vitalism nu poate să dea o formulare neechivocă ideii că o forţă vitală necunoscută fizicii ar guverna toată viaţa organică. Eu cred însă că sîntem cu toţii de acord cu Newton că baza ultimă a ştiinţei este ideea că natura pusă în aceleaşi condiţii va manifesta aceleaşi aspecte. Cred de aceea că

dacă vom fi în stare să împingem analiza organismelor vii pînă la fenomenele atomice, nu putem să ne aşteptăm să găsim aspecte străine materiei anorganice. În această dilemă trebuie avut în vedere, însă, că condiţiile din cercetarea biologică şi cea fizică nu sînt direct comparabile, deoarece necesitatea de a menţine obiectul viu sub cercetare impune o restricţie asupra cercetărilor lui fizice. Astfel, dacă încercăm să efectuăm cercetări asupra organelor unui animal în aşa fel încît să putem spune ceva referitor la rolul jucat de atomii singulari în funcţiile sale vitale, înseamnă să distrugem organele respective.

În orice experienţă cu organisme vii rămîne o nedeterminare în ceea ce priveşte condiţiile fizice la care ele sînt supuse, şi această idee sugerează faptul că acel minim de libertate pe care îl permitem organismului în studiu va fi suficient ca să-i permitem să-şi ascundă ultimele secrete faţă de noi. Din acest punct de vedere, însăşi existenţa vieţii trebuie considerată în biologie ca un fapt elementar, aşa cum cuanta de acţiune este considerată în fizica atomică ca un element de bază ce nu poate fi dedus din consideraţiile din mecanica obişnuită. În acest fel, imposibilitatea explicării stabilităţii atomice prin mijloacele clasice prezintă o strînsă analogie cu imposibilitatea explicării fizice sau chimice a funcţiilor particulare caracteristice vieţii.

Făcînd această analogie însă, nu trebuie să scăpăm din vedere că problemele prezintă aspecte diferite în fizica atomică şi în biologie. În timp ce în fizică sîntem interesaţi în comportarea materiei în formele ei cele mai simple, complexitatea sistemelor materiale cu care avem de-a face în biologie, este de natură fundamentală, deoarece chiar cele mai primitive organisme conţin un număr mare de atomi. Este adevărat că întinsul domeniu de aplicare a mecanicii clasice se bazează tocmai pe posibilitatea neglijării complementarităţii în care intră în joc cuanta de acţiune, şi anume în cazurile în care avem de-a face cu corpuri ce conţin un număr mare de atomi. Deşi aspectele atomiste sînt esenţiale, pentru biologie este însă tipic faptul că nu se verifică niciodată condiţiile exterioare la care a fost supus fiecare atom separat, aşa cum se face în experimentele fundamentale din fizica atomică. De

fapt, noi nici nu putem spune care anume atomi aparţin unui organism viu, pentru că orice funcţie vitală este însoţită de un schimb de materie în care atomii sînt în mod constant captaţi şi expulzaţi din această organizare care se numeşte fiinţa vie. Într-adevăr, acest schimb de materie se extinde la toate părţile unui organism viu într-un mod care impedică o separare netă la scara atomului între acele aspecte ale mecanismului care pot fi descrise prin mecanica clasică şi cele pentru care considerarea cuantei de acţiune este decisivă. Această diferenţă fundamentală dintre cercetarea biologică şi cea fizică implică faptul că nu poate fi trasată o limită bine definită de aplicabilitate a ideilor fizice la problemele vieţii, care ar corespunde distincţiei dintre domeniul descrierii cauzale şi cel al fenomenelor cuantice propriu-zise din mecanica atomică. Această limitare aparentă a analogiei îşi are rădăcinile în chiar definiţiile cuvintelor viaţă şi mecanică, care în ultimă instanţă constituie o problemă de comoditate. Pe de o parte, problema unei limitări a fizicii în biologie ar pierde orice semnificaţie dacă, în loc să distingem între organismele vii şi corpurile neînsufleţite, extindem ideea de viaţă la toate fenomenele naturale. Pe de altă parte, dacă, în concordanţă cu limbajul obişnuit, rezervăm cuvîntul mecanică pentru descrierea cauzală neechivocă a fenomenelor naturale, un termen ca mecanica atomică ar deveni fără sens. Nu voi intra mai departe în astfel de probleme terminologice, dar adaug numai că esenţa analogiei, considerată mai sus, este exclusivismul evident dintre unele aspecte tipice ale vieţii ca autoconservarea, şi regenerarea indivizilor, pe de o parte, şi divizarea obiectului, necesară pentru orice analiză fizică, pe de altă parte. Datorită acestui aspect esenţial de complementaritate, noţiunea de scop care este străină oricărei analize mecanice, găseşte oarecum un cîmp de aplicaţie şi în biologie. Într-adevăr, în acest sens argumentarea teleologică poate fi privită ca un aspect legitim al descrierii fiziologice, care se referă la caracteristicile vieţii într-un mod analog cu recunoaşerea cuantei de acţiune în principiul de corespondenţă al fizicii atomice.

În discutarea aplicabilităţii ideilor fizice pure la organismele vii, am tratat desigur viaţa ca pe orice alt feno-

men al lumii materiale. Trebuie să subliniem, însă, că această atitudine care este caracteristică cercetării biologice nu implică o neglijare a aspectelor psihologice ale vieții. Din contra, recunoașterea limitării noțiunilor mecanice în fizica atomică ar părea mai degrabă că vine să concilieze punctele de vedere aparent contradictorii ale fiziologiei și psihologiei. Într-adevăr, necesitatea de a lua în considerare interacțiunea dintre instrumentul de măsură și obiectul de cercetat, în mecanica atomică, prezintă o analogie strînsă cu dificultățile specifice din analiza psihologică, care apar din faptul că conținutul mintal este invariabil alterat cînd atenția este concentrată pe oricare aspect special al lui. Ne-ar duce prea departe de subiectul nostru problema de a argumenta pe seama acestei analogii care oferă o clarificare esențială a paralelismului psihofizic. Însă aș vrea să menționez că considerațiile de tipul menționat se opun în întregime oricărei încercări de a căuta posibilități noi pentru o influență spirituală asupra comportării materiei în descrierea statistică a fenomenelor atomice. De exemplu, este imposibil din punctul nostru de vedere să atașăm o semnificație neechivocă ideii că probabilitatea de producere a anumitor procese atomice în corp ar putea fi sub directa influență a voinței. Potrivit cu interpretarea generalizată a paralelismului psiho-fizic, libertatea voinței trebuie considerată ca un aspect al vieții conștiente care corespunde funcțiilor organismului; aceasta nu numai că scapă unei descrieri mecanice cauzale, dar rezistă chiar unei analize fizice efectuate cu extinderea dorită pentru aplicarea neechivocă a legilor statistice ale mecanicii atomice. Fără să intrăm în speculații metafizice, aș putea să adaug că o analiză a însăși noțiunii de explicație ar începe și ar sfîrși, natural, cu o renunțare la explicarea activității noastre conștiente.

În concluzie, nu cred că este nevoie să mai subliniez că observațiile de mai sus nu au fost făcute cu scopul de a semăna scepticism asupra dezvoltării viitoare a științelor fizice și biologice. Un asemenea scepticism ar fi într-adevăr departe de mintea unui fizician în prezent, cînd însăși recunoașterea caracterului limitat al concepțiilor noastre celor mai fundamentale a dus la o dezvoltare remarcabilă a științei noastre. Nici renunțarea la explicarea vieții nu

a împiedicat progresul extraordinar care a avut loc în toate ramurile biologiei, incluzînd cele care s-au dovedit atît de eficiente pentru arta medicinei. Chiar dacă nu putem face o distincție fizică netă între sănătate și boală, nu este în orice caz loc pentru scepticism în domeniul special care formează obiectul acestui congres, atît timp cît nu părăsim calea bătătorită a progresului. Această cale a fost urmată cu deosebit succes încă începînd cu munca de pionier a lui Finsen, a cărui notă caracteristică a fost combinarea cea mai intimă a cercetării efectelor medicale ale terapiei cu radiații luminoase cu studiul aspectelor sale fizice.

II

Biologia și fizica atomică

1937

Opera nemuritoare a lui Galvani, care a inaugurat o epocă nouă în întregul domeniu al științei, este una dintre cele mai strălucitoare ilustrații ale folosului extrem pe care îl aduce combinarea intimă a cercetărilor asupra legilor lumii neînsuflețite cu studiul proprietăților organismelor vii. De aceea, ar fi bine să trecem în revistă atitudinea pe care oamenii de știință au luat-o de-a lungul secolelor față de problema relației dintre fizică și biologie și în special să discutăm perspectiva creată în acest domeniu de extraordinara dezvoltare a teoriei atomice în ultimul timp.

Din cele mai vechi timpuri concepția atomică a fost în centrul interesului în legătură cu eforturile de a se obține o viziune cuprinzătoare a marii varietăți a fenomenelor fizice. Astfel, Democrit, care, cu o intuiție profundă, a subliniat necesitatea atomismului pentru orice descriere rațională a proprietăților obișnuite ale materiei, a încercat, după cum se știe, să utilizeze de asemenea ideile atomiste pentru explicarea particularităților vieții organice și chiar a psihologiei omenești. Datorită caracterului fantastic al unei concepții materialiste atît de extreme, a fost naturală reacția lui Aristotel. Acesta, cu măiestrita înțelegere a cunoștințelor din timpul său atît din fizică cît și din biologie, a respins teoria atomică în întregime și a încercat să ofere un cadru mai larg pentru descrierea bogăției de fenomene naturale pe baza unor idei esențial teleologice. Exagerările doctrinei aristotelice au fost însă clar puse în evidență de recunoașterea gradată a legilor

elementare ale naturii, valabile atît pentru corpuri neînsufleţite cît şi pentru organisme vii.

Dacă ne gîndim la stabilirea principiilor mecanicii, care aveau să devină însăşi baza fizicii, nu este lipsit de interes să amintim că descoperirea de către Arhimede a principiului plutirii corpurilor, care, după cum spune tradiţia, i-a fost sugerată de senzaţia de scădere în greutate a propriului său corp, pe care a simţit-o cînd se afla în baie, s-ar putea baza de asemenea pe experienţa comună existentă privind pierderea în greutate a pietrelor în apă. De asemenea, trebuie privit ca accidental şi faptul că Galilei a ajuns la stabilirea legilor fundamentale ale dinamicii, observînd mişcarea unui pendul în frumoasa catedrală din Pisa şi nu privind la un copil care se da în leagăn. Asemenea analogii externe erau, desigur, de mică greutate faţă de aprecierea crescîndă a unităţii esenţiale a principiilor care guvernează fenomenele naturale, în comparaţie cu asemănările adînc înrădăcinate dintre mecanismele vii şi maşinăriile tehnice, puse în evidenţă de studiile anatomice şi fiziologice care erau efectuate intens în timpul Renaşterii, în special aici, în Italia.

Entuziasmul pentru posibilităţile oferite de noul mod experimental, de abordare a filozofiei naturii — încurajat de lărgirea imaginii despre lume, datorită viziunii lui Copernic, şi de elucidarea mecanismelor circulaţiei sîngelui în corpul animal, iniţiată de marea descoperire a lui Harvey — a găsit probabil expresia sa cea mai vie în opera lui Borelli, care a reuşit să clarifice în detalii atît de fine funcţia mecanică a scheletului şi a muşchilor la mişcarea animalelor. Caracterul clasic al acestei lucrări nu este umbrit de încercarea lui Borelli şi a urmaşilor săi de a explica acţiunea nervoasă şi secreţia glandulară cu ajutorul modelelor mecanice primitive, al căror caracter arbitrar şi aproximativ au stîrnit repede critici care au ataşat şcolii lui Borelli în mod ironic numele de „iatrofizică". De asemenea, şi slabele încercări de a aplica proceselor fiziologice cunoştinţele din ce în ce mai numeroase privind reacţiile chimice tipice, au găsit un exponent entuziast în Sylvius. Ele au dus rapid la exagerări asupra asemănării superficiale a digestiei şi fermentaţiei cu cele mai simple reacţii anorganice şi aplicarea lor

directă în scopuri medicale, în ciuda unei opoziții care și-a găsit expresia în categorisirea unor asemenea încercări premature, drept „iatro-chimie".

Pentru noi sînt azi evidente cauzele lipsurilor acestor eforturi de pionierat în care s-a folosit fizica și chimia pentru o explicare cît mai cuprinzătoare a proprietăților organismelor vii. Nu numai că a trebuit să se aștepte pînă în epoca lui Lavoisier pentru enunțarea principiilor elementare ale chimiei, care aveau să dea cheia pentru înțelegerea respirației și, mai tîrziu, să creeze baza pentru extraordinara dezvoltare a chimiei organice, dar, pînă la descoperirile lui Galvani, un întreg aspect fundamental al legilor fizicii, a rămas ascuns. Cred că este foarte sugestiv de amintit că germenii, care în mîinile lui Volta, Oersted, Faraday și Maxwell aveau să se dezvolte într-o structură ce rivaliza în importanță cu mecanica lui Newton, au apărut din cercetări cu scopuri biologice. De fapt, este dificil de imaginat că s-ar fi putut realiza progresul de la experiențele simple cu corpuri încărcate electric, oricît de fructuoase erau ele în mîinile lui Franklin, pînă la studiul curenților galvanici, dacă instrumentele sensibile pentru detectarea unor astfel de curenți — mai tîrziu atît de ușor de realizat — nu ar fi fost furnizate de natura însăși prin țesutul nervos al animalelor superioare.

Este imposibil să schițăm aici, chiar numai în general, uriașa dezvoltare a fizicii și chimiei din zilele lui Galvani, sau să enumerăm toate descoperirile din ultimul secol în toate domeniile biologiei. Trebuie, totuși, să menționăm evoluția de la lucrările de pionierat din însăși această respectabilă universitate, ale lui Malpighi și Spallanzani, la embriologia modernă și, respectiv, bacterologie, sau de la experiențele lui Galvani însuși la cercetările recente și fascinante asupra impulsurilor nervoase. În ciuda obținerii unei înțelegeri mai largi asupra aspectelor fizice și chimice ale multor reacții tipic biologice, finețea extraordinară a structurii organismelor și bogăția de mecanisme de reglare interconectate merg încă mult dincolo de orice experiență asupra naturii neînsuflețite încît noi ne simțim mai departe ca oricînd de o explicație fizico-chimică a vieții. Într-adevăr, cînd sîntem martorii pasionantelor controverse științifice privitoare la unele probleme

legate de descoperirile recente ale efectelor de otrăvire și de proprietățile regenerative ale așa-numitului virus, ne găsim în fața unei dileme la fel de acute ca aceea cu care au avut de-a face Democrit și Aristotel.

În această situație, atenția se concentrează din nou asupra teoriei atomice, deși pe un fond cu totul diferit. Nu numai că această teorie a fost aplicată cu un succes decisiv, începînd cu Dalton, la elucidarea legilor cantitative care guvernează obținerea compușilor chimici, devenind o bază indispensabilă și un ghid fără greș al tuturor argumentărilor din chimie, dar rafinarea excepțională a tehnicilor experimentale în fizică ne-a dat totodată mijloacele de a studia fenomenele care depind direct de acțiunea atomilor individuali. În același timp, dezvoltarea tehnicilor experimentale a înlăturat ultimele prejudecăți, după care, datorită limitelor de sensibilitate ale simțurilor noastre, existența atomilor ar rămîne pentru totdeauna dincolo de posibilitățile experienței umane. De asemenea, ea a relevat în legile naturii aspecte și mai profunde ale atomicității decît cele exprimate de vechea doctrină a divizibilității limitate a materiei. Astfel, am înțeles că dacă vrem să cuprindem și fenomenele atomice propriu-zise trebuie să lărgim sistemul de noțiuni adaptat experienței noastre zilnice, sistem care de altfel ne-a servit să formulăm legile care guvernează proprietățile macroscopice ale materiei și constituie impozantul edificiu al așa-numitei fizici clasice. Pentru a aprecia posibilitățile pe care această nouă perspectivă le furnizează filozofiei, în privința unei atitudini raționale față de problemele fundamentale ale biologiei, va fi necesar să ne amintim pe scurt liniile principale de dezvoltare care au dus la elucidarea situației în teoria atomică.

După cum se știe, punctul de plecare în fizica atomică modernă a fost recunoașterea naturii atomice a electricității, indicată la început de cunoscutele cercetări ale lui Faraday asupra electrolizei și stabilită în mod definitiv prin izolarea electronului în frumoasele fenomene de descărcări electrice prin gaze rarefiate, care au atras atît de mult atenția la sfîrșitul veacului trecut. Deși cercetările lui J. J. Thomson au scos la lumină rolul jucat de electroni în cele mai variate fenomene fizice și chimice, cu-

noştinţele noastre asupra unităţilor structurale ale materiei nu au fost completate pînă la descoperirea de către Rutherford a nucleului atomic, descoperire care a încoronat munca sa de pionier în domeniul transmutaţiei radioactive spontane a unor elemente grele. Într-adevăr, această descoperire a oferit pentru prima dată o explicare indiscutabilă a invariabilităţii elementelor în reacţii chimice obişnuite, în care nucleul foarte mic şi greu rămîne neschimbat şi numai distribuţia electronilor orbitali este afectată. Mai mult, ea permite o înţelegere imediată nu numai a originii radioactivităţii naturale, în care caz are loc o explozie a nucleului însuşi, ci de asemenea şi a posibilităţii, descoperită mai apoi tot de Rutherford, de a induce transmutaţii ale elementelor prin bombardarea cu particule grele de mare viteză, care, în ciocnirea cu nucleele, pot produce dezintegrarea acestora.

Ne-am îndepărta prea mult de subiect dacă am pătrunde mai adînc în acest nou şi minunat domeniu de cercetare deschis de studiul transmutaţiilor nucleare, care va fi unul dintre subiectele de bază ale discuţiilor dintre fizicieni la această reuniune. Punctul esenţial al argumentării noastre nu poate fi găsit într-o experienţă atît de nouă, ci în imposibilitatea evidentă de a descrie datele comune fizice şi chimice pe baza aspectelor principale bine stabilite ale modelului atomic al lui Rutherford, fără a ne depărta radical de la ideile clasice ale mecanicii şi electromagnetismului. De fapt, în armonia mişcărilor planetare exprimate de legile lui Kepler, proprietăţile de stabilitate ale modelelor mecanice ca sistemul solar, care, atunci cînd este perturbat, nu are nici o tendinţă de a se întoarce la starea originară, nu au în mod clar o asemănare suficientă cu stabilitatea intrinsecă a configuraţiilor electronice ale atomilor, care este răspunzătoare de proprietăţile specifice ale elementelor. În plus, această stabilitate este ilustrată şi de analiza spectrală, care, după cum se ştie, a arătat că fiecare element posedă un spectru caracteristic de linii înguste, independent de condiţiile externe, în aşa fel încît permite identificarea compoziţiei materiale a celor mai îndepărtate stele prin observaţii spectroscopice.

O cheie pentru rezolvarea acestei dileme a fost dată de descoperirea de către Planck a cuantei elementare de

acțiune, care avea să inițieze o linie foarte diferită în cercetarea științifică. După cum se știe, Planck a ajuns la această descoperire fundamentală prin ingenioasa analiză a acelor aspecte ale echilibrului termic dintre materie și radiație care, potrivit cu principiile generale ale termodinamicii, ar fi complet independente de orice proprietăți specifice ale materiei și de orice structură intimă a atomului. Existența cuantei elementare de acțiune exprimă de fapt un nou aspect al individualității proceselor fizice, care este străin de legile clasice ale mecanicii și electromagnetismului și limitează valabilitatea lor esențială la acele fenomene care cuprind acțiuni mari în comparație cu valoarea pentru o singură cuantă, așa cum e dată de noua constantă atomică a lui Planck. Această condiție, deși amplu satisfăcută în fenomenele experienței fizice obișnuite, nu e valabilă nicidecum pentru comportarea electronilor în atomi și numai existența cuantei de acțiune este aceea care face ca electronii și nucleele să nu se unească într-o singură masă neutră de dimensiuni infinitezimale.

Recunoașterea acestei situații a sugerat dintr-o dată descrierea legăturii fiecărui electron în cîmpul din jurul nucleului ca o succesiune de procese individuale, prin care atomul trece de la una din așa-numitele stări staționare la alta, cu emisia energiei eliberate sub forma unei singure cuante de radiație electromagnetică. Această concepție, venită imediat după reușita interpretare a efectului fotoelectric de către Einstein, a fost confirmată de frumoasele cercetări ale lui Franck și Hertz asupra excitării liniilor spectrale prin ciocnirea electronilor de atomi. Ea a explicat nu numai complicatele legi generale ale liniilor spectrale, date de Balmer, Rydberg și Ritz, dar a condus treptat cu ajutorul datelor spectroscopice, la o clasificare sistematică a tipurilor de stări staționare ale oricărui electron din atom, oferind o explicare completă a relației dintre proprietățile fizice și chimice ale elementelor, așa cum sînt exprimate în tabloul periodic al elementelor al lui Mendeleev. În timp ce o astfel de interpretare a proprietăților materiei apărea ca o realizare deosebită — depășind chiar visurile pitagoreicilor — a vechiului ideal de a reduce formularea legilor naturii la considerații asupra

numerelor pure, presupunerea de bază a individualității proceselor atomice cuprindea în același timp o renunțare esențială la conexiunea cauzală detaliată între evenimentele fizice, care de secole fusese baza indiscutabilă a filozofiei naturale.

Experiențe evidente de tipul cel mai diferit au arătat că este exclusă orice reîntoarcere la un mod de descriere legat de principiul de cauzalitate și, de asemenea, că ar fi posibil să se dezvolte încercările mai vechi de a descrie existența cuantei de acțiune în teoria atomică printr-o mecanică atomică statistică adecvată, comparabilă ca consistență și completitudine cu structura mecanicii clasice, din care ea ar apărea ca o generalizare rațională. Stabilirea așa-numitei mecanici cuantice, pe care o datorăm, după cum se știe, generației mai tinere de fizicieni, pe lîngă faptul că este foarte folositoare în toate ramurile fizicii și chimiei atomice, a clarificat în mod esențial baza epistemologică a analizei și sintezei fenomenelor atomice. Însăși revizuirea problemei observației în acest domeniu, inițiată de Heisenberg, unul din principalii fondatori ai mecanicii cuantice, a condus de fapt la dezvăluirea presupunerilor pînă atunci neglijate ale folosirii neechivoce a noțiunilor celor mai elementare pe care se bazează descrierea fenomenelor naturale. Punctul critic aici este recunoașterea faptului că orice încercare de a analiza, pe calea obișnuită din fizica clasică, „individualitatea" proceselor atomice, așa cum sînt condiționate de cuanta de acțiune, va fi afectată de interacțiunea inevitabilă dintre obiectele atomice cercetate și instrumentele de măsură absolut necesare pentru acest scop.

O consecință imediată a acestei situații este că observațiile asupra obiectelor la scara atomică, obținute cu diferite aranjamente experimentale, nu pot fi combinate în modul în care se obișnuiește în fizica clasică. În particular, orice procedeu imaginabil, care ar avea ca scop determinarea pozițiilor în spațiu și timp a electronilor într-un atom, va conține în mod inevitabil un schimb necontrolabil de impuls și energie între atom și instrumentul de măsură, schimb care anihilează complet regularitățile observate ale stabilității atomice de care este răspunzătoare cuanta de acțiune. Reciproc, orice cercetare a acestor re-

gularități, a căror descriere se bazează pe legile de conservare ale impulsului și energiei, vor impune în principiu o renunțare în ceea ce privește localizarea spațio-temporală a electronilor individuali în atomi. Departe de a fi inconsistente, aspectele fenomenelor cuantice revelate de experiențe, obținute în astfel de condiții care se exclud reciproc, pot fi privite ca fiind complementare într-un mod cu totul nou. Desigur, punctul de vedere al „complementarității" nu înseamnă în nici un caz o renunțare arbitrară la analiza fenomenelor atomice, ci este, din contra, expresia unei sinteze raționale a bogăției de experiențe din acest domeniu, care depășesc limitele de aplicabilitate ale noțiunii de cauzalitate. Nu sînt de loc de subestimat încurajările date de exemplul teoriei relativității care, prin dezvăluirea presupunerilor neașteptate de folosire neechivocă a tuturor noțiunilor fizice, a deschis noi posibilități pentru înțelegerea unor fenomene aparent incompatibile. Trebuie totuși să înțelegem că situația oferită de teoria atomică modernă este în întregime fără precedent în istoria fizicii. Într-adevăr, întreaga structură noțională a fizicii clasice dusă la o completare și unificare atît de frumoasă de către lucrările lui Einstein, este clădită pe presupunerea, admisă pe baza experienței noastre zilnice asupra fenomenelor fizice, că este posibil să se facă o distincție între comportarea obiectelor materiale și observarea lor. Pentru a face o paralelă la teoria atomică, privind aplicabilitatea limitată a unei astfel de idealizări obișnuite, trebuie de fapt să ne întoarcem la alte ramuri ale științei, cum ar fi psihologia, sau chiar la acel gen de probleme epistemologice cu care și gînditori ca Buda și Lao Tse au avut de-a face, atunci cînd au încercat să armonizeze poziția noastră de spectatori și actori în marea dramă a existenței. Recunoașterea unei analogii în caracterul pur logic al problemelor din domenii atît de separate ale preocupărilor omenești, nu implică însă acceptarea în fizica atomică a vreunui misticism străin de adevăratul spirit al științei, ci, din contra, ne incită să examinăm dacă soluțiile directe ale paradoxurilor neașteptate pe care le-am întîlnit în aplicarea celor mai simple noțiuni la fenomenele atomice, n-ar putea să ne ajute la clarificarea dificultăților logice din alte domenii ale experienței.

Au existat unele sugestii de a se căuta o corelație directă între viață sau manifestarea liberă a voinței și acele aspecte ale fenomenelor atomice pentru înțelegerea cărora cadrul fizicii clasice este evident prea îngust. De fapt, este posibil să se arate multe aspecte caracteristice ale relațiilor organismelor vii, ca sensibilitatea percepției vizuale sau mutația genelor indusă de radiațiile penetrante, care, fără îndoială, cuprind o amplificare a efectelor proceselor atomice individuale similare cu acelea pe care se bazează tehnica experimentală din fizica atomică. De asemenea, recunoașterea că finețea mecanismelor de organizare și de reglare a ființelor vii merge chiar atît de departe, încît nu ne permite să descriem caracteristicile vieții. Într-adevăr, așa-zisele aspecte holiste * și finaliste ale fenomenelor biologice, nu pot fi cu siguranță explicate imediat cu ajutorul individualității proceselor atomice, dezvăluite de descoperirea cuantei de acțiune ; mai degrabă caracterul statistic esențial al mecanicii cuantice pare, la prima vedere, să crească dificultățile în înțelegerea regularităților biologice. În această dilemă însă, învățămintele generale ale teoriei atomice ne sugerează că singurul mod de a reconcilia legile fizice cu concepțiile potrivite pentru descrierea fenomenelor vieții este de a examina diferența esențială în condițiile de observare a fenomenelor fizice și biologice.

Mai întîi de toate trebuie să înțelegem că orice dispozitiv experimental, cu care am putea studia comportarea atomilor ce intră în constituția unui organism în măsura în care acest lucru poate fi făcut cu atomi individuali în experiențe fundamentale de fizică atomică, va exclude posibilitatea de a menține organismul în viață. Schimbul neîntrerupt de materie, care este legat în mod inseparabil de viață, va implica chiar imposibilitatea de a privi un organism ca un sistem bine definit de particule materiale, asemănător sistemelor considerate în orice descriere a proprietăților obișnuite fizice și chimice ale materiei. Sîntem de drept îndemnați să ne închipuim regularitățile biologice proprii ca reprezentînd legi ale naturii, complementare cu cele indicate pentru a descrie proprietățile corpurilor neîn-

* De la *holos* = întreg — *N.T.*

sufletite, prin analogie cu relația complementară dintre proprietățile de stabilitate ale atomilor înșiși și să presupunem o astfel de comportare a particulelor constituente, care să permită o descriere în funcție de localizarea spațio-temporală. În acest sens, existența vieții însăși trebuie considerată, atît ca definiție cît și ca observare, ca un postulat de bază al biologiei, nefiind susceptibilă de analize mai detaliate, în același mod în care existența cuantei de acțiune, împreună cu atomicitatea ultimă a materiei, formează baza elementară a fizicii atomice.

Se va vedea că un asemenea punct de vedere este la fel de departe de doctrinele extreme ale mecanicismului cît și de cele ale vitalismului. Pe de o parte, el condamnă ca nesemnificative orice comparări ale organismelor vii cu mașinile, fie că ele sînt efectuate folosindu-se construcțiile relativ simple ale iatro-fizicienilor, fie că se obțin prin teorii moderne, rafinate, cărora sîntem îndemnați să le dăm porecla de „iatro-cuantiste". Pe de altă parte, respinge ca irațională toate acele încercări de a introduce un fel de legi biologice incompatibile cu regularitățile bine stabilite fizice și chimice, așa cum au fost reînviate în zilele noastre sub impresia minunatelor descoperiri ale embriologiei privind creșterea și diviziunea celulei. În legătură cu aceasta, trebuie în special amintit că posibilitatea de a evita orice inconsistență de acest fel în cadrul complementarității este dată de însuși faptul că niciun rezultat al cercetării biologice nu poate fi neechivoc descris altfel decît în termenii fizicii și ai chimiei, și ca și orice descriere a experiențelor chiar din fizica atomică, trebuie să se bazeze pînă la urmă pe folosirea noțiunilor indispensabile pentru o înregistrare conștientă a impresiilor simțurilor.

Ultima remarcă ne aduce înapoi în domeniul psihologiei, unde au fost recunoscute dificultățile pe care problemele de definiție și observație le pune în cercetarea științifică cu mult înainte ca ele să devină acute în științele naturii. Într-adevăr, imposibilitatea ca în experimentele de fizică să distingem între fenomenele înseși și perceperea lor conștientă, cere în mod clar o renunțare la o descriere simplă cauzală, pe modelul fizicii clasice. Modul în care cuvinte ca „raționamente" sau „senzații" sînt folosite pen-

tru a descrie astfel de experimente aminteşte în mod sugestiv de complementaritatea din fizica atomică. Nu voi intra mai mult în detalii, dar subliniem numai că pînă la urmă tocmai această imposibilitate de a distinge net pe cale introspectivă între subiect şi obiect, este aceea care ne conferă libertatea de manifestare a voinţei. A lega voinţa liberă mai direct cu limitarea cauzalităţii în fizica atomică, aşa cum se sugerează adesea, este o tendinţă complet străină aceleia ce stă la baza observaţiilor făcute aici asupra problemelor biologice.

În încheiere, sper că îndrăzneala unui fizician care se aventurează aşa departe în afara domeniului său ştiinţific va fi iertată, ţinînd seama de această binevenită ocazie ce se oferă fizicienilor şi biologilor de a cinsti memoria marelui pionier, ale cărui descoperiri fundamentale sînt atît de importante pentru ambele ramuri ale ştiinţei.

III

Filozofia naturii și culturile umane

1938

Numai după mari ezitări am acceptat amabila invitație de a mă adresa acestei adunări de distinși reprezentanți ai științelor antropologice și etnografice, cu care eu, ca fizician, nu am contact științific direct. Totuși cu această ocazie, cînd însăși ambianța acestor locuri istorice ne vorbește tuturor despre alte aspecte ale vieții decît cele discutate la congresele obișnuite, ar fi probabil interesant de încercat în cîteva cuvinte să vă atrag atenția către aspectul epistemologic al ultimelor descoperiri în filozofia naturală și efectele lor asupra problemelor general-umane.

În ciuda marii diferențe dintre ramurile noastre de cunoaștere, noua lecție pe care fizicienii și-au însușit-o privind grija cu care trebuie aplicate convențiile uzuale, atîta timp cît nu avem de-a face cu experiența zilnică, poate într-adevăr fi capabilă să ne amintească într-un mod nou pericolul, binecunoscut de umaniști, de a judeca din punctul nostru de vedere culturile dezvoltate în sînul altor societăți.

Desigur, este imposibil să facem o distincție netă între filozofia naturală și cultura omenească. Fizica este de fapt o parte integrantă a civilizației noastre, nu numai pentru că stăpînind din ce în ce mai mult forțele naturii am schimbat atît de radical condițiile materiale ale vieții, dar și pentru că studiul acestor științe a contribuit atît de mult la clarificarea fondului propriei noastre existențe. Asta înseamnă că noi nu ne mai considerăm niște privilegiați trăind în centrul universului, înconjurați de societăți mai puțin norocoase trăind la marginile abisului, ci, prin dezvoltarea astronomiei și geografiei, am înțeles că noi

toți împărțim o mică planetă sferică a sistemului solar, care este o mică parte a unor sisteme și mai mari. Un avertisment serios asupra relativității judecăților omenești ne-a fost dat o dată cu revizuirea presupunerilor ce stau la baza folosirii unor noțiuni fundamentale, cum ar fi spațiul și timpul, care, prin relevarea dependenței esențiale a oricărui fenomen fizic de punctul de vedere al observatorului, a contribuit atît de mult la unitatea și frumusețea imaginii noastre de ansamblu despre lume.

În timp ce importanța acestor mari realizări în privința concepțiilor noastre de ansamblu este de obicei înțeleasă, nu același lucru se întîmplă și în privința neașteptatei lecții epistemologice pe care ne-a dat-o deschiderea unor noi domenii în cercetarea fizică, în ultimii ani. Pătrunderea noastră în lumea atomilor, pînă nu de mult închisă pentru ochii omului, este într-adevăr o aventură care poate fi comparată cu marile călătorii ale navigatorilor în jurul lumii și cu explorările îndrăznețe ale astronomilor în adîncimile spațiului ceresc. După cum se știe, dezvoltarea extraordinară a artei experimentării fizice nu numai că a înlăturat ultimele urme ale credinței vechi că imperfecțiunea simțurilor noastre ne-ar împiedica să obținem informații directe asupra atomilor individuali, dar ne-a arătat că atomii înșiși constau din particule mai mici, care pot fi izolate și ale căror proprietăți pot fi studiate separat. În același timp, însă, am învățat, în cadrul acestui fascinant domeniu experimental, că legile naturii, care constituie marele edificiu al fizicii clasice, sînt valabile numai cînd avem de-a face cu corpuri care sînt compuse dintr-un număr practic infinit de atomi. Noile cunoștințe privitoare la comportarea atomilor și particulelor atomice izolate au dezvăluit de fapt o limită neașteptată pentru subdivizarea tuturor acțiunilor fizice, care se întind mult dincolo de vechea concepție a divizibilității limitate a materiei și dau fiecărui proces atomic un caracter individual particular. Această descoperire a făurit de fapt o bază nouă pentru înțelegerea stabilității intrinseci a structurilor atomice, care, în ultimă instanță, condiționează regularitățile din orice experiență obișnuită.

Schimbarea radicală în atitudinea noastră față de descrierea naturii, adusă de această dezvoltare a fizicii ato-

mice este probabil cel mai clar ilustrată de faptul că principiul cauzalității, pînă acum privit ca fundamentul indiscutabil pentru interpretarea fenomenelor naturale, s-a dovedit un cadru prea îngust pentru a cuprinde regularitățile specifice ce guvernează procesele atomice individuale. Cu siguranță, oricine va înțelege că fizicienii au avut nevoie de argumente foarte convingătoare pentru a renunța la idealul cauzalității în sine ; dar, în studiul fenomenelor atomice am aflat în repetate rînduri că problemele despre care se credea că au primit de mult o rezolvare definitivă păstrau încă surprize neașteptate pentru noi. Desigur că ați auzit despre enigmele legate de cele mai elementare proprietăți ale luminii și materiei, care au pus deseori în încurcătură pe fizicieni în ultimii ani. Contradicțiile aparente de care ne-am lovit în această privință sînt, de fapt, la fel de acute ca și cele care au dat naștere la teoria relativității la începutul acestui secol, găsindu-și explicația, ca și aceasta din urmă, numai printr-o examinare mai atentă a limitărilor impuse de noile experiențe în folosirea noțiunilor care participă la descrierea fenomenelor. În timp ce în teoria relativității punctul decisiv a fost recunoașterea modului esențial diferit în care observatorii în mișcare relativă unul față de altul vor descrie comportarea unui obiect dat, elucidarea paradoxurilor fizicii atomice a dezvăluit faptul că interacțiunea inevitabilă dintre obiecte și instrumentele de măsură pune o limită absolută posibilității de a vorbi despre comportarea obiectelor atomice, independentă de mijloacele de observație.

Avem de-a face aici cu o problemă epistemologică cu totul nouă în filozofia naturală, unde orice descriere a experiențelor a fost bazată pînă acum pe presupunerea, deja inerentă în convențiile obișnuite ale limbajului, că este posibil să facem o distincție netă între comportarea obiectelor și a mijloacelor de observație. Această presupunere nu este numai pe deplin justificată de experiența de fiecare zi, dar constituie chiar întreaga bază a fizicii clasice, care tocmai prin teoria relativității a primit o completare atît de armonioasă. Însă, în momentul în care avem de-a face cu fenomene ca procesele atomice individuale, care, datorită naturii lor, sînt în mod esențial determinate de interacțiunea dintre obiectele în discuție și instrumentele de

măsură necesare pentru constituirea aranjamentului experimental, sîntem siliți să examinăm mai atent problema tipului de informații ce pot fi obținute asupra obiectelor. În această privință trebuie, pe de o parte, să înțelegem că scopul fiecărui experiment fizic — anume de a obține informații în condiții reproductibile și comunicabile — nu ne lasă nici o alegere și trebuie să folosim noțiunile obișnuite sau mai rafinate din terminologia fizicii clasice, nu numai în descrierea construcției și manipulării instrumentelor de măsură, dar de asemenea și în descrierea rezultatelor experimentale. Pe de altă parte este în egală măsură important să înțelegem că tocmai această împrejurare atrage după sine faptul că niciun rezultat al vreunui experiment privind un fenomen care, în principiu, se află dincolo de domeniul fizicii clasice, nu poate da informații asupra proprietăților independente ale obiectelor, ci este în mod inerent legat de o situație definită în descrierea căreia instrumentele de măsură care interacționează cu obiectele au o contribuție esențială. Acest ultim fapt dă o explicație directă a contradicțiilor aparente care se nasc atunci cînd rezultatele privitoare la obiectele atomice, obținute prin diferite aranjamente experimentale, sînt combinate într-o imagine unică a obiectului.

Potrivit, însă, unei terminologii adeseori folosite în fizica atomică, informații privind comportarea unui obiect atomic, obținute în condiții experimentale definite, pot fi caracterizate drept *complementare* oricăror informații asupra aceluiași obiect obținute cu un alt aranjament experimental care exclude satisfacerea primelor condiții. Deși asemenea informații nu pot fi combinate într-o imagine unică folosind noțiunile obișnuite, ele reprezintă totuși aspecte la fel de esențiale pentru cunoașterea obiectului în cauză (ce pot fi obținute în acest domeniu). Recunoașterea unui atare caracter complementar al analogiilor mecanice prin care s-a încercat să se vizualizeze efectele radiative, a dus de fapt la o rezolvare complet satisfăcătoare a enigmelor asupra proprietăților luminii, despre care am vorbit mai sus.

În același fel, numai prin luarea în considerare a relației de complementaritate între diferitele experimente privind comportarea particulelor atomice, a fost posibil să se

găsească cheia pentru înțelegerea contradicției frapante dintre modelele mecanice obișnuite și legile particulare de stabilitate ce guvernează structurile atomice, care formează baza pentru orice explicare mai închegată a proprietăților fizice și chimice specifice ale materiei.

Desigur, nu am intenția ca, profitînd de această ocazie, să intru prea adînc în asemenea detalii, dar sper că am reușit să vă dau o imagine suficient de clară a faptului că nu avem de-a face cu o renunțare arbitrară la analiza detaliată a bogăției aproape copleșitoare a experienței noastre în domeniul atomilor. Din contra, avem de-a face cu o dezvoltare rațională a mijloacelor noastre de clasificare și înțelegere a noii experiențe care, datorită caracterului său specific, nu-și găsește locul în descrierea formală obișnuită, potrivită numai pentru a descrie comportarea obiectelor atîta timp cît această comportare este independentă de mijloacele de observație. Departe de a conține vreun misticism contrar spiritului științei, punctul de vedere al complementarității formează într-adevăr o generalizare consistentă a idealului cauzalității.

Oricît de neașteptată ar părea această evoluție în domeniul fizicii, sînt sigur că mulți dintre dumneavoastră au sesizat analogia strînsă dintre situația analizei fenomenelor atomice, așa cum am descris-o, și aspectele caracteristice ale problemei observării psihologiei umane.

Într-adevăr, putem spune că tendința psihologiei moderne poate fi caracterizată ca o reacție împotriva încercării de a analiza experiența psihică sub forma unor elemente care pot fi asociate în același fel în care sînt asociate rezultatele măsurătorilor în fizica clasică. În introspecție este evident imposibil să facem o distincție netă între fenomenele înseși și percepția lor conștientă și deși adesea putem acorda atenție unui aspect particular al experienței psihice, la o examinare mai atentă se va vedea că în realitate avem de-a face în asemenea cazuri cu situații mutual exclusive. Știm cu toții zicala veche după care, dacă încercăm să ne analizăm emoțiile, încetăm de a le mai avea și, în acest sens, distingem experiențele psihice, pentru descrierea cărora sînt folosite în mod adecvat cuvinte ca „gînduri" și „sentimente", existînd o relație de complementaritate similară cu cea privind experiențele

privind comportarea atomilor obținute cu aranjamente experimentale diferite și descrise cu ajutorul diferitelor analogii luate din ideile noastre obișnuite. Printr-o asemenea comparație nu intenționez nicidecum să fac o legătură mai strînsă între fizica atomică și psihologie, ci numai să accentuez argumentul epistemologic comun ambelor domenii și, astfel, să determin a vedea cît de folositoare poate fi soluția problemelor fizice relativ simple în clarificarea celor psihologice, care sînt mult mai complicate și cu care au de-a face des antropologii și etnologii în cercetările lor.

Venind acum mai aproape de subiectul nostru în susținerea unor asemenea puncte de vedere la compararea diferitelor culturi umane, vom comenta mai întîi relația tipică de complementaritate între modurile de comportare ale ființelor vii caracterizate prin cuvintele „instinct" și „rațiune". Este adevărat că oricare din aceste cuvinte este folosit cu sensuri foarte diferite ; astfel instinct poate să însemne putere motrice sau comportare moștenită, iar rațiune poate denota un sens mai adînc ca și o argumentație conștientă. Noi avem de-a face însă numai cu modul practic în care aceste cuvinte sînt folosite pentru a face distincție între diferite situații în care se găsesc oamenii sau animalele. Nimeni nu va nega, desigur, apartenența noastră la lumea animalelor și ar fi chiar foarte dificil de găsit o definiție exhaustivă care să caracterizeze omul față de celelalte animale. Într-adevăr, posibilitățile latente în orice organism viu nu sînt ușor de estimat și cred că nu există niciunul dintre noi care n-a fost uneori adînc impresionat de măsura în care pot fi dresate animalele la circ. Nici chiar sub aspectul transmiterii informațiilor de la un individ la altul nu s-ar putea trage o delimitare netă între animale și om ; dar desigur darul vorbirii ne plasează în această privință într-o situație esențial diferită, nu numai la schimbul de experiență practică, dar mai întîi de toate în posibilitatea de a transmite la copii, prin educație, tradiții privind comportarea și raționamentul, care formează baza oricărei culturi omenești.

În ceea ce privește rațiunea comparată cu instinctul, mai presus de toate este esențial să înțelegem că nu se poate imagina o gîndire omenească fără folosirea noțiuni-

lor încadrate în vreo limbă pe care fiecare generație trebuie să o învețe de la început. De fapt, această folosire a noțiunilor nu numai că are o acțiune anihilatorie asupra vieții instinctive, dar stă în mare măsură într-o relație exclusivă de complementaritate cu desfășurarea instinctelor moștenite. Superioritatea uimitoare a animalelor aflate pe o treaptă de dezvoltare mai joasă în comparație cu omul în folosirea posibilităților naturii pentru menținerea și propagarea vieții, are adesea cu siguranță explicarea ei adevărată în faptul că de la aceste animale nu putem aștepta o gîndire conștientă în sensul pe care noi îl dăm acestui cuvînt. În mod similar, capacitatea oamenilor așanumiți primitivi de a se orienta în deșerturi sau păduri care, deși aparent pierdută în multe societăți civilizate, în anumite ocazii poate fi reînviată în oricare din noi, poate justifica concluzia că asemenea fapte sînt posibile numai cînd nu se recurge la gîndirea noțională care, la rîndul ei, este adaptată la scopuri mult mai variate de importanță fundamentală pentru dezvoltarea civilizației. Tocmai pentru că nu este încă adaptat folosirii noțiunilor, un nou născut poate fi cu greu recunoscut ca ființă umană ; dar aparținînd speciei om, deși este mai neajutorat decît multe animale tinere, are desigur posibilitățile organice de a primi prin educație o cultură care să-i permită să-și ocupe locul într-o societate umană.

Astfel de considerații ne pun față în față cu problema dacă este bine fondată credința larg răspîndită că fiecare copil este născut cu o predispoziție de a adopta o cultură umană specifică, sau dacă nu e mai bine să presupunem că orice cultură poate fi imprimată și făcută să prospere pe fonduri fizice foarte diferite. Aici desigur atingem un subiect încă controversat de geneticieni, care efectuează studii foarte interesante asupra moștenirii caracterelor fizice. În legătură cu aceste discuții însă, trebuie mai presus de toate să ținem seama că distincția dintre noțiunile genotip și fenotip, atît de fructuoase pentru clarificarea eredității la plante și animale, presupune esențialmente influența condițiilor externe ale vieții asupra proprietăților caracteristice ale speciilor. În cazul caracterelor culturale specifice ale societăților omenești problema este, însă, inversată, în sensul că legea pentru clasificare o constituie

aici obiceiurile tradiționale formate de-a lungul istoriilor societăților și de către vecinătățile naturale. Aceste obiceiuri, ca și presupunerile lor inerente trebuie de aceea analizate în detaliu înainte ca orice influență posibilă a diferențelor în dezvoltarea și menținerea culturilor respective să poată fi estimată. Într-adevăr, în caracterizarea diferitelor națiuni și chiar a diferitelor familii aparținînd unei națiuni, putem considera în mare măsură urmele biologice și tradițiile spirituale ca independente unele de altele și ar fi chiar tentant să rezervăm prin definiție adjectivul „uman" pentru acele caractere care nu sînt direct legate cu moștenirea corporală.

La prima vedere, ar putea să pară că o asemenea atitudine înseamnă o jonglerie de argumente dialectice. Dar lecția pe care am primit-o din întreaga dezvoltare a fizicii este aceea că germenul unei dezvoltări fructuoase stă adesea tocmai în alegerea potrivită a definițiilor. Cînd ne gîndim, de exemplu, la clarificarea adusă în diferite ramuri ale științei de argumentele teoriei relativității, vedem într-adevăr ce avans se poate căpăta prin astfel de rafinamente formale. Așa cum am arătat mai înainte, punctele de vedere relativiste sînt de asemenea folositoare în promovarea unei atitudini mai obiective în ceea ce privește relația între culturile umane, ale căror diferențe tradiționale seamănă în multe privințe cu manierele diferite dar echivalente în care poate fi descrisă experiența fizică. Această analogie dintre problemele fizice și cele umaniste are totuși o întindere limitată și exagerarea ei a dus chiar la neînțelegerea esenței teoriei relativității însăși. De fapt unitatea imaginii relativiste despre lume implică tocmai posibilitatea pentru orice observator de a prezice în cadrul sistemului său de noțiuni modul cum va coordona experiența sa un alt observator în sistemul acestuia din urmă. Principalul obstacol în fața unei atitudini corecte față de relația dintre diferite culturi umane constă în diferențele adînc înrădăcinate ale fondurilor tradiționale pe care este bazată armonia culturală în diferite societăți umane și care exclude orice comparație simplă între astfel de culturi.

Se vede dar că punctul de vedere al complementarității oferă prin el însuși un mijloc de a face față oricărei situații. De fapt, cînd se studiază culturile omenești diferite de cea a noastră avem de-a face cu o problemă particulară de observație, care, la o considerare mai atentă, prezintă multe aspecte comune cu problemele atomice sau psihologice, unde interacțiunea dintre obiecte și instrumentele de măsură, sau inseparabilitatea conținutului obiectiv și a subiectului, împiedică o aplicare imediată a convențiilor potrivite descrierii vieții de fiecare zi. În special în studiul culturilor societăților primitive, etnologii nu numai că sînt conștienți de riscul de a perturba aceste culturi prin luarea de contact necesară, dar se tem și de reacția unor asemenea studii asupra propriei lor atitudini. Mă refer aici la experiența, bine cunoscută exploratorilor, a zdruncinării ideilor lor datorită contactului cu armonia internă neașteptată pe care viața omului poate să o prezinte chiar în tradiții și convenții complet diferite de ale lor. Ca un exemplu revelator aș putea să vă amintesc măsura în care în anumite societăți rolul bărbatului și al femeii sînt complet inversate, nu numai în ceea ce privește obligațiile domestice și sociale, ci chiar privind comportarea și mentalitatea. Chiar dacă mulți dintre noi, în astfel de situații sînt înclinați să creadă că totul depinde de capriciile soartei ca un grup de oameni să aibă o anumită cultură și nu pe a noastră, iar noi nu pe a lor ci pe a noastră, este clar că cea mai mică suspiciune în această privință implică trădarea vanității naționale inerente oricărei culturi omenești de sine stătătoare.

Folosind cuvîntul complementaritate în semnificația sa proprie din fizica atomică, unde el caracterizează relația între experiențele obținute cu diferite aranjamente experimentale și demonstrabile numai cu ajutorul unor idei care se exclud reciproc, putem de asemenea să spunem că diferitele culturi sînt complementare una alteia. Într-adevăr, fiecare asemenea cultură prezintă un echilibru armonios de convenții tradiționale în care potențialele latente ale vieții omenești pot să se desfășoare într-un mod care ne relevă noi aspecte ale varietății și bogăției sale. Desigur, nu poate exista în acest domeniu nici o problemă despre relații atît de absolut exclusive ca acelea din expe-

rientele complementare asupra comportării obiectelor atomice bine definite, deoarece cu greu poate exista o cultură despre care să putem spune că este de sine stătătoare. Din contra, cu toţii ştim din numeroase experienţe, cum un contact mai mult sau mai puţin intim între două societăţi omeneşti poate duce la o fuziune treptată a tradiţiilor, dînd naştere la o cultură cu totul nouă. Nu mai trebuie pomenită importanţa în această privinţă a amestecului de populaţii prin emigraţie sau cucerire pentru dezvoltarea civilizaţiei omeneşti. Este într-adevăr cel mai nobil scop al studiilor umanistice să contribuie, printr-o cunoaştere mereu crescîndă a istoriei dezvoltării culturii, la acea eliminare treptată a prejudecăţilor, care este scopul comun al tuturor ştiinţelor.

După cum am arătat la începutul acestei expuneri, problemele discutate între experţii ce participă la acest congres depăşesc cunoştinţele mele. Singurul meu scop a fost acela de a vă da un exemplu de atitudine epistemologică generală pe care noi am fost forţaţi să o adoptăm în domeniul experienţei fizice, care este oarecum departe de pasiunile omeneşti. Nu ştiu însă dacă am găsit cuvintele potrivite pentru a vă transmite această idee şi, înainte de a încheia, poate că îmi este permis să vă relatez o experienţă care mi-a amintit o dată lipsurile mele în această privinţă. Pentru a explica unei asistenţe că eu nu am folosit cuvîntul prejudecată pentru a implica vreo condamnare a altor culturi, ci pur şi simplu pentru a caracteriza cadrul nostru naţional plin în mod necesar de prejudecăţi, m-am referit, glumind, la prejudecăţile tradiţionale pe care danezii le nutresc faţă de confraţii lor suedezi, aflaţi de partea cealaltă a frumosului Sound care se vede acum prin ferestre şi cu care ne-am luptat secole de-a rîndul chiar între pereţii acestui castel. Din contactul cu ei noi am primit de-a lungul timpului influenţe deosebit de fructuoase. Acum veţi înţelege cît de şocat am fost cînd, după prelegerea mea, un ascultător veni la mine şi îmi spuse că el nu poate să înţeleagă de ce îi uram atît pe suedezi. Evident, trebuie să mă fi exprimat foarte confuz în acea ocazie şi mă tem că azi, de asemenea, am vorbit într-un mod neclar. Totuşi, sper că nu am vorbit atît de neclar încît să se producă astfel de neînţelegeri.

IV

Convorbiri cu Einstein asupra problemelor epistemologice din fizica atomică

1949

Am fost solicitat de editorul colecției „Filozofi în viață" să scriu un articol pentru prezentul volum, în care oameni de știință contemporani cinstesc contribuțiile epocale ale lui Albert Einstein la progresul filozofiei naturii. Ei fac cunoscut cît de mult datorează întreaga noastră generație orientării pe care ne-a dat-o geniul său. M-am gîndit îndelung la cea mai bună modalitate de a explica și eu acest lucru. Mi-au revenit vii în minte numeroasele ocazii în care de-a lungul anilor, am avut privilegiul de a discuta cu Einstein problemele epistemologice ridicate de dezvoltarea modernă a fizicii atomice. Am simțit că nu aș putea face ceva mai bun decît să încerc să relatez aceste discuții, care m-au stimulat și au avut astfel o deosebită însemnătate pentru mine. Sper că relatarea mea va putea forma și în unele cercuri mai largi o imagine asupra rolului esențial pe care l-a jucat schimbul deschis de idei în progresul unui domeniu în care, din timp în timp, experiențe noi impuneau reconsiderarea punctelor noastre de vedere.

Chiar de la început s-a discutat deosebit de mult atitudinea care trebuie luată față de abaterile de la principiile obișnuite ale filozofiei naturii. O astfel de abatere caracterizează noua dezvoltare a fizicii, generată încă din primul an al acestui secol prin descoperirea cuantei universale de acțiune de către Planck. Această descoperire a evidențiat

faptul că legile naturii au un caracter discret, care depășește cu mult vechea doctrină a divizibilității finite a materiei. Ea ne-a învățat că teoriile clasice ale fizicii sînt idealizări, care pot fi aplicate fără ambiguitate numai în cazurile limită în care toate acțiunile luate în considerare sînt mari în comparație cu cuanta. Renunțarea la descrierea cauzală a proceselor atomice, impusă de nevoia găsirii unei soluții, a generat însă o întrebare. Noua descriere poate fi considerată doar ca o abatere temporară de la cazurile ideale și va trebui în cele din urmă revizuită, sau ea va constitui o etapă definitivă pe calea descoperirii armoniei reale dintre analiza și sinteza fenomenelor fizice? Am dorit să redau baza discuțiilor noastre și să scot cît mai clar în evidență argumentele unor astfel de puncte de vedere opuse. Am crezut de aceea necesar să dau o oarecare dezvoltare părții care reamintește anumite caracteristici esențiale ale progresului, la care Einstein însuși a contribuit atît de hotărîtor.

Este binecunoscută legătura intimă, stabilită prima oară de Boltzmann, dintre legile termodinamicii și regularitățile statistice prezentate de sistemele mecanice cu mai multe grade de libertate. Legătura aceasta l-a călăuzit pe Planck în ingenioasa lui tratare a problemei radiației termice și l-a dus la descoperirea sa fundamentală. În teoria lui, Planck s-a ocupat în primul rînd de considerații cu caracter statistic. El s-a reținut cu grijă de la formularea unor concluzii explicite asupra gradului în care existența cuantelor impune o abatere de la principiile mecanicii și electrodinamicii. Marea contribuție originală a lui Einstein la teoria cuantică (1905) a constat tocmai în recunoașterea modului în care fenomene fizice, de tipul efectului fotoelectric, pot depinde direct de efecte cuantice individuale[1]. În aceeași ani în care, prin dezvoltarea teoriei relativității, Einstein punea o nouă bază fizicii, el explora cu îndrăzneală noile trăsături proprii atomismului, trăsături ce depășeau cadrul fizicii clasice.

Cu o intuiție fără greș, Einstein a ajuns, din aproape în aproape, la concluzia că orice proces de radiație implică

---

1 A. Einstein, „Ann. Phys.", **17**, 132, 1905.

emisia sau absorbția unor cuante individuale de lumină sau „fotoni", avînd energia și, respectiv, impulsul

$$E = h\nu \qquad \text{și} \qquad P = h\sigma, \tag{1}$$

unde h este constanta lui Planck, în timp ce ν și σ sînt, respectiv, numărul de vibrații în unitatea de timp și numărul de unde pe unitatea de lungime. Ideea de foton, în ciuda utilității sale, genera o dilemă cu totul neprevăzută. Orice reprezentare corpusculară simplă a radiației ar fi, în mod evident, incompatibilă cu efectele de interferență. Aceste efecte, care pot fi descrise numai pe baza unei teorii ondulatorii, reprezintă însă un aspect deosebit de esențial al fenomenelor radiative. Gravitatea dilemei apare subliniată de faptul că efectele de interferență ne oferă singura bază de definire a noțiunilor de frecvență și lungime de undă, noțiuni care intră chiar în expresiile energiei și impulsului fotonului.

În această situație nu se poate încerca o analiză cauzală a fenomenelor radiative. Se pot numai estima probabilități de emisie radiativă individuală, prin folosirea combinată a acestor tipuri opuse de reprezentare. Totuși, este foarte important să se înțeleagă că, în astfel de condiții, recurgerea la legile probabilității are un scop esențial diferit de cel obișnuit de aplicare a considerațiilor statistice, în care acestea constituie doar mijloace practice, de explicare a proprietăților sistemelor mecanice de mare complexitate structurală. În mecanica cuantică nu sîntem în fața unor complicații de acest fel. Aici avem de-a face cu incapacitatea sistemului clasic de noțiuni de a descrie trăsătura particulară de indivizibilitate, sau de „individualitate", care caracterizează procesele elementare.

Insuccesul teoriilor fizicii clasice în explicarea fenomenelor atomice a fost accentuat și mai mult de progresul cunoștințelor noastre asupra structurii atomilor. Înainte de toate, descoperirea de către Rutherford a nucleului atomic (1911) a arătat dintr-o dată incapacitatea noțiunilor mecanicii clasice și electromagnetismului de a explica stabilitatea proprie atomului. Teoria cuantică a oferit din nou o soluție pentru rezolvarea problemei. Îndeosebi, s-a găsit posibilitatea explicării stabilității atomilor și a legilor empirice care guvernează spectrele elementelor, presupu-

nînd că orice reacție a atomului, care duce la o modificare a energiei lui, implică o tranziție completă între două așa-numite stări cuantice staționare și că, în particular, spectrele ar fi emise într-un proces în trepte, în care fiecare tranziție este însoțită de emisia unei cuante de lumină monocromatică cu o energie egală tocmai cu cea a unui foton.

Aceste idei au fost confirmate în scurt timp prin experiențele lui Franck și Hertz (1914) asupra excitării spectrelor prin ciocnirea electronilor cu atomi. Ele impuneau din nou renunțarea la modul de descriere cauzal. Aceasta deoarece, în mod evident, interpretarea legilor spectrale implică ca un atom într-o stare excitată să aibă în general posibilitatea unei tranziții cu emisie de fotoni, în oricare din stările sale cu energie mai mică. De fapt, însăși ideea stărilor staționare este incompatibilă cu orice precizare în privința alegerii între astfel de tranziții. Ea lasă loc numai noțiunii de probabilitate relativă a proceselor individuale de tranziție. Singura călăuză pentru estimarea unor astfel de probabilități era așa-numitul principiu de corespondență. El își avea originea în căutarea celei mai strînse legături posibile dintre rezultatele statistice ale proceselor atomice și consecințele de așteptat pe baza teoriei clasice, care trebuie să fie valabilă la analiza fenomenelor în situația limită în care acțiunile luate în considerare sînt mari în comparație cu cuanta universală.

În perioada aceea nu se conturase încă o teorie cuantică generală consistentă (autorul folosește termenul *selfconsistent. — N. T.).* Atitudinea care predomina poate fi ilustrată în oarecare măsură de următorul pasaj dintr-o conferință, din 1913, a autorului [2]:

„Sper că m-am exprimat suficient de clar pentru ca dumneavoastră să puteți aprecia măsura în care aceste considerații se opun sistemului de noțiuni admirabil de concordante, pe drept numit teoria clasică a electrodinamicii. Am încercat însă să vă formez convingerea că — tocmai prin sublinierea atît de puternică a acestei opoziții — va fi posibil, în decursul timpului, să se stabilească o anume coerență în noile idei".

[2] N. Bohr, *The Theory of Spectra and Atomic Constitution,* University Press, Cambridge, 1922.

Progrese însemnate în dezvoltarea teoriei cuantice au fost făcute de Einstein însuși, în faimosul său articol din 1917 [3] asupra echilibrului radiativ, în care el a arătat că legea lui Planck pentru radiația termică poate fi dedusă în chip simplu din ipoteze conforme cu ideile de bază ale teoriei cuantice asupra constituției atomului. În acest scop, Einstein a formulat legi statistice generale în ceea ce privește apariția tranziției radiative între stări staționare. El a presupus că, atunci cînd atomul este expus unui cîmp de radiații, vor apărea procese de absorbție și de emisie cu o probabilitate proporțională cu intensitatea de iradiere, în unitatea de timp. Mai mult, că vor avea loc procese de emisie spontană chiar în absența perturbațiilor externe, ele producîndu-se cu o viteză corespunzătoare unei probabilități apriorice. În ceea ce privește acest ultim punct, Einstein sublinia sugestiv caracterul fundamental al descrierii statistice. El atrăgea atenția asupra analogiei dintre ipotezele privitoare la apariția tranzițiilor radiative spontane și legile binecunoscute care guvernează transformările substanțelor radioactive.

Printr-o cercetare mai profundă a cerințelor termodinamicii în cadrul problemelor radiației, Einstein a accentuat încă și mai mult dilema, arătînd că argumentația presupune ca orice proces de radiație să fie „unidirecțional", în sensul că există nu numai un impuls corespunzător transferării de către un foton unui atom a direcției lui de propagare, dar și că însuși atomul emițător va primi un impuls echivalent, în sens opus. Aceasta deși în reprezentarea ondulatorie nu poate fi vorba de preferințe pentru o singură direcție într-un proces de emisie. Poziția lui Einstein însuși față de astfel de concluzii este exprimată într-un pasaj din finalul articolului menționat (*op. cit.*, p. 127) :

„Aceste particularități ale proceselor elementare par să facă aproape de neevitat dezvoltarea unei tratări cuantice corespunzătoare a radiației. Partea slabă a teoriei actuale constă în faptul că, pe de o parte, nu se poate obține o legătură strînsă cu noțiunile concepției ondulatorii și, pe de altă parte, lasă în seama întîmplării (*Zufall*) timpul și

[3] A. Einstein, „Physik. Z." **18**, 121, 1917.

direcția proceselor elementare ; cu toate acestea, am o încredere totală în valabilitatea făgașului pe care s-a intrat".

Aceste probleme fundamentale au format baza conversațiilor noastre în 1920, în timpul unei vizite la Berlin, cînd am avut marea ocazie de a-l întîlni prima oară pe Einstein. Discuțiile acelea mi-au revenit adesea în minte și ele au adăugat la admirația mea pentru Einstein o profundă impresie legată de atitudinea sa imparțială. Evident, folosirea cu predilecție de către Einstein a unor expresii pitorești de tipul „unde-fantomă (*Gespensterfelder*) purtînd fotonul", nu implicau tendințe către misticism. Ele indicau mai degrabă un umor profund, care se transmitea tuturor remarcilor sale. Rămînea însă o anumită deosebire între atitudinea sa de fond și cea aparentă. Einstein poseda o măiestrie remarcabilă în coordonarea unor experiențe aparent contradictorii, fără a abandona continuitatea și cauzalitatea. El era probabil mult mai puțin dornic să renunțe la astfel de principii decît aceia pentru care o renunțare la ele se impunea ca singura posibilitate aparentă pentru a se înainta pe drumul coordonării variatelor evidențe, care se acumulau zilnic, în cadrul explorării noului domeniu de cunoaștere legat de fenomenele atomice.

În anii următori, în care problemele atomice au atras atenția unor cercuri tot mai largi de fizicieni, contradicțiile proprii teoriei cuantice s-au simțit mai puternic ca oricînd. Reprezentativă pentru această situație este discuția prilejuită de descoperirea în 1922 a efectului Stern-Gerlach. Pe de o parte, acest efect constituie un sprijin solid ideii stărilor staționare și, în particular, teoriei cuantice a efectului Zeemann, dezvoltată de Sommerfeld ; pe de altă parte însă, așa cum au arătat în mod clar Einstein și Ehrenfest [4], apar greutăți de netrecut pentru orice încercare de a se elabora o reprezentare a

[4] A. Einstein și P. Ehrenfest, „Z. Physik", **11**, 31, 1922.

comportării atomilor într-un cîmp magnetic. Paradoxuri analoge au fost generate de descoperirea de către Compton (1924) a schimbării lungimii de undă care însoţeşte împrăştierea radiaţiei X pe electroni. Acest fenomen oferea, aşa cum se ştie, cea mai directă dovadă a corectitudinii reprezentării lui Einstein, în privinţa transferului de energie şi impuls în procesele radiative ; în acelaşi timp, era de asemenea clar că o reprezentare simplă, de tipul unei ciocniri între corpuscule, nu va putea oferi o descriere completă a fenomenului. În lupta cu aceste greutăţi, au fost formulate în acea vreme chiar îndoieli în legătură cu conservarea energiei şi impulsului în procesele radiative individuale [5] ; acest punct de vedere a trebuit să fie foarte repede abandonat în faţa rezultatelor unor experienţe mult mai rafinate, care puneau în evidenţă corelaţia dintre deviaţia fotonului şi reculul corespunzător al electronului.

Drumul către o lămurire a situaţiei a fost de fapt asigurat în primul rînd prin dezvoltarea unei teorii cuantice mai clare. Un prim pas în acest sens a fost realizat prin recunoaşterea de către de Broglie, în 1925, a faptului că dualitatea undă-corpuscul nu este legată numai de proprietăţile radiaţiei, ci ea apare şi în explicarea comportării particulelor materiale. În scurtă vreme această idee a fost confirmată convingător prin experienţe asupra fenomenelor de interferenţă cu electroni. Einstein, care deja luase în considerare profunda analogie dintre proprietăţile radiaţiei termice şi cele ale gazelor, în aşa-numita stare degenerată [6], a salutat de la apariţie ideea lui de Broglie. Noua linie a fost dezvoltată cu mult succes de Schrödinger (1926). În particular, acesta a arătat cum ar putea fi reprezentate stările staţionare ale sistemelor atomice prin soluţiile proprii ale unei ecuaţii de undă. La stabilirea acesteia, Schrödinger a fost condus de analogia formală dintre problemele mecanice şi cele optice, analogie ce fusese indicată iniţial de către Hamilton. Şi totuşi, aspectele paradoxale ale teoriei cuantice nu erau încă în nici un fel elucidate. Ele chiar se accentuaseră,

---

[5] N. Bohr, H. A. Kramers şi J. C. Slater, „Phil. Mag.", **47**, 785. 1924.

[6] A. Einstein, „Berl. Ber.", **261**, 1924 ; **3** şi **18**, 1925.

prin contradicția aparentă dintre cerințele principiului general al superpoziției, din descrierea ondulatorie, și caracterul de individualitate al proceselor atomice elementare.

În același timp, Heisenberg (1925) stabilea bazele unei mecanici cuantice raționale, care s-a dezvoltat apoi rapid prin contribuțiile însemnate ale lui Born și Jordan, ca și ale lui Dirac. În această teorie se introduce un formalism, în care variabilele cinematice și dinamice din mecanica clasică sînt înlocuite prin simboluri, care se supun unei algebre necomutative. În ciuda renunțării la reprezentările orbitale, se folosesc încă, neschimbate, ecuațiile canonice ale lui Hamilton din mecanică, iar constanta lui Planck intră numai în legile de comutare,

$$qp - pq = \sqrt{-1} \cdot \frac{h}{2\pi}, \qquad (2)$$

valabile pentru orice pereche de variabile conjugate q și p. Printr-o reprezentare a simbolurilor prin matrici, cu elementele legate de tranzițiile dintre stări staționare, a devenit pentru prima oară posibilă o formulare cantitativă a principiului de corespondență. Trebuie reamintit aici că o etapă preliminară importantă în obținerea acestui rezultat a fost realizată în special prin contribuțiile lui Kramers. Ele au fost acelea care au dus la stabilirea unei teorii cuantice a dispersiei, la baza căreia stau legile generale ale lui Einstein asupra probabilităților de apariție ale proceselor de absorbție și de emisie.

Acest formalism al mecanicii cuantice, așa cum a demonstrat Schrödinger puțin timp după aceea, dă rezultate identice cu cele ce se obțin prin metodele matematice, adesea mult mai convenabile, ale teoriei ondulatorii. În anii următori au fost treptat stabilite metode generale pentru o descriere statistică în esență a proceselor atomice. În cadrul ei se realiza combinarea trăsăturilor de individualitate cu cerințele principiului superpoziției, în mod egal caracteristice pentru teoria cuantică. Printre numeroasele progrese din această perioadă, trebuie în special menționat că formalismul s-a dovedit capabil să încorporeze principiul de excluziune, care guvernează stările sistemelor cu

mai mulți electroni. Acest principiu fusese stabilit de Pauli, înainte de elaborarea mecanicii cuantice, printr-o analiză a spectrelor atomice. Înțelegerea cantitativă a unui număr mare de evidențe empirice nu a mai lăsat nici o îndoială asupra fertilității și corectitudinii formalismului mecanicii cuantice. Caracterul său abstract a dat însă naștere la o impresie de inaccesibilitate. O lămurire a acestei situații ar cere, de fapt, o examinare mai amănunțită a însăși problemei observării în fizica atomică.

Această etapă de dezvoltare a fost inițiată, așa cum se știe, de Heisenberg (1927) [7]. El a fost cel care a remarcat că informația ce se obține despre starea unui sistem atomic implică întotdeauna o „imprecizie" caracteristică. Astfel, în baza relațiilor fundamentale (1), orice măsurare a poziției unui electron cu ajutorul unui aparat oarecare (de exemplu un microscop), care folosește o radiație de înaltă frecvență, va fi legată de un schimb de impuls între electron și aparatul de măsură. Această interacțiune este cu atît mai mare, cu cît se încearcă o determinare mai precisă a poziției. Confruntînd astfel de considerații cu exigențele formalismului mecanicii cuantice, Heisenberg a atras atenția asupra faptului că legea de comuntare (2) impune o limitare reciprocă în determinarea celor două variabile conjugate, q și p, care este exprimată de relația

$$\Delta q \cdot \Delta p \approx h, \tag{3}$$

unde Δq și Δp sînt impreciziile, definite convenabil, în determinarea acestor variabile. Se remarcă astfel conexiunea intimă dintre descrierea statistică a mecanicii cuantice și posibilitățile reale de măsurare. Relația, numită de imprecizie este, precum a arătat Heisenberg, foarte însemnată pentru elucidarea paradoxurilor implicate de încercările unei analize a efectelor cuantice în cadrul reprezentării fizicii obișnuite.

Noul progres din fizica atomică a fost discutat, sub diferitele lui aspecte, la Congresul Internațional de Fizică pentru comemorarea lui Volta, ținut la Como, în septembrie 1927. Într-un referat pe care l-am prezentat cu aceas-

[7] W. Heisenberg, „Z. Physik", **43**, 172, 1927.

tă ocazie[8], am argumentat un punct de vedere, denumit al complementarității, capabil să cuprindă caracteristica de individualitate a fenomenelor cuantice. În același timp, el este în măsură să clarifice, în acest domeniu de experiență, aspectele particulare ale problemei observației. În acest scop, este hotărîtor să se recunoască că *oricît de mult ar depăși unele fenomene domeniul explicațiilor clasice ale fizicii, exprimarea tuturor rezultatelor trebuie făcută în termeni clasici.* Argumentul este pur și simplu acela că, prin cuvîntul „experiment", ne referim la o situație în care putem să spunem alte lucruri decît acelea de la care am plecat și pe care le-am învățat. De aceea, descrierea dispozitivului experimental și redarea rezultatelor observației trebuie făcute într-un limbaj clar, prin folosirea convenabilă a terminologiei fizicii clasice.

Această problemă crucială avea să devină tema principală a discuțiilor, care vor fi relatate în cele ce urmează. Ea implică *imposibilitatea oricărei separări nete între comportarea obiectelor atomice și interacțiunea lor cu instrumentele de măsurare, folosite pentru stabilirea condițiilor în care apar fenomenele.* De fapt, individualitatea efectelor cuantice tipice își găsește expresia proprie în faptul că orice încercare de a subdivide fenomenele impune o modificare a dispozitivului experimental. Se creează astfel noi posibilități de interacțiune între obiecte și instrumentele de măsurare, interacțiuni care sînt în principiu necontrolabile. Ca urmare, evidențele obținute în diferite condiții experimentale nu pot fi înțelese în cadrul unei singure reprezentări. Ele trebuie considerate *complementare,* în sensul că numai totalitatea fenomenelor îngăduie epuizarea informației posibile despre obiecte.

În aceste condiții un element esențial în crearea ambiguităților este dat de atribuirea convențională de calități fizice obiectelor atomice, ca atunci cînd considerăm, de exemplu, contradicția legată de proprietățile de corpuscul și de undă ale electronilor și fotonilor. În acest caz avem de-a face cu reprezentări contradictorii, fiecare referindu-se la cîte un aspect esențial al evidenței empirice. Efec-

[8] *Atti del Congresso Internationale dei Fisici,* Como, 1927 (retipărit în „Nature", **121,** 78 și 580, 1928).

tul Compton este, de asemenea, un exemplu care ilustrează modul în care, prin examinarea condițiilor experimentale în care apar fenomenele complementare, se înlătură paradoxuri aparente. O descriere consecventă a acestui efect a întîmpinat la început serioase dificultăți. În adevăr, orice dispozitiv convenabil pentru studiul schimburilor de energie și impuls între electron și foton trebuie să includă o imprecizie în descrierea spațio-temporală a interacțiunii. Această imprecizie este suficientă pentru a nu permite și definirea numărului de unde și a frecvenței, care intră în relația (1). Invers, orice încercare de a localiza mai exact ciocnirea dintre electron și foton, datorită interacțiunii inevitabile cu rigla fixă și cu ceasornicele, care definesc împreună sistemul de referință spațio-temporal, va exclude orice informație mai precisă în ceea ce privește bilanțul impuls-energie.

Așa cum s-a subliniat în referat, un mijloc potrivit pentru o descriere complementară îl oferă tocmai formalismul mecanicii cuantice. El reprezintă o schemă pur simbolică, care, pe baza principiului de corespondență, permite prevederea rezultatelor ce se pot obține, în condiții precizate, cu ajutorul noțiunilor clasice. Trebuie reamintit că și în cazul relației de imprecizie (3) avem de a face cu o implicare a formalismului, care interzice o exprimare clară, prin cuvinte convenabile unei descrieri în cadrul fizicii clasice. În acest sens, o frază ca „noi nu putem să cunoaștem în același timp impulsul și poziția unui obiect la scara atomică", stîrnește dintr-o dată întrebări asupra relației fizice dintre cele două caracteristici ale obiectelor. Un răspuns poate fi dat numai prin referire la condițiile în care se pot folosi, fără ambiguitate, pe de o parte, noțiunile de spațiu și timp, iar pe le altă parte, legile dinamice de conservare. Combinarea acestor noțiuni într-o singură reprezentare, printr-un lanț cauzal de evenimente este prin esență de domeniul mecanicii clasice. Sesizarea unor regularități care depășesc posibilitățile de înțelegere ale unei astfel de reprezentări este asigurată însă de faptul că studiul fenomenelor complementare impune dispozitive experimentale diferite, care se exclud reciproc.

În fizica atomică apare necesitatea unei noi examinări a bazelor unei folosiri clare a ideilor din fizica obișnuită.

Într-o anumită măsură se reamintește, astfel, nevoia care l-a împins pe Einstein la originala sa revizuire a noțiunilor de spațiu și timp. Dezvoltarea acesteia, de importanță primordială în cadrul problemei observației, a asigurat o deosebită unitate reprezentării noastre despre lume. Fără a sublinia toate aspectele noi ale tratării cuantice, remarcăm că, în cadrul teoriei relativității, descrierea cauzală este concordantă în orice sistem de referință. În mecanica cuantică, interacțiunea necontrolabilă dintre obiecte și instrumentele de măsurare ne obligă la o renunțare și în această privință. Aceasta însă nu duce la nici o limitare a țelului descrierii cuantice. Scopul întregii argumentări prezentate la Conferința de la Como a fost tocmai acela de a arătat că punctul de vedere al complementarității poate fi privit ca o generalizare rațională a însăși ideii de cauzalitate.

La discuția generală avută la Como ne-a lipsit tuturor prezența lui Einstein. Puțin după aceea, în octombrie 1927, eu am avut însă fericita ocazie de a-l întîlni la Bruxelles, la a V-a Conferință de Fizică a Institutului Solvay, care avea ca temă „electronii și fotonii". Încă de la început, Einstein a fost figura cea mai proeminentă a ședințelor Solvay. O parte dintre noi am mers la conferință cu marea dorință de a afla reacțiile sale față de ultimul stadiu de dezvoltare al problemelor. Așa cum consideram noi, progresul realizat asigura o serioasă clarificare a problemelor pe care el le abordase cu multă ingeniozitate chiar de la apariție. În timpul discuțiilor, subiectul a fost revăzut în totalitate prin numeroase contribuții și au fost din nou prezentate argumentele pe care le-am menționat în paginile precedente. Einstein și-a exprimat totuși o neliniște profundă în privința gradului în care a fost abandonată tratarea cauzală în spațiu și timp în mecanica cuantică.

Într-una din ședințe[9], pentru a-și ilustra atitudinea sa, Einstein a recurs la un exemplu simplu pe care îl redăm

[9] Institut International de Physique Solvay, *Rapport et discussions du 5-e Conseil*, Paris, 1928, p. 253 și urm.

în fig. 1. O particulă (electron sau foton), trece printr-un orificiu sau printr-o fantă îngustă, dispusă la oarecare distanță de o placă fotografică. Datorită corelării difracției undei cu mișcarea particulei (mișcarea este indicată în figură prin linii subțiri) este imposibil, în astfel de condiții,

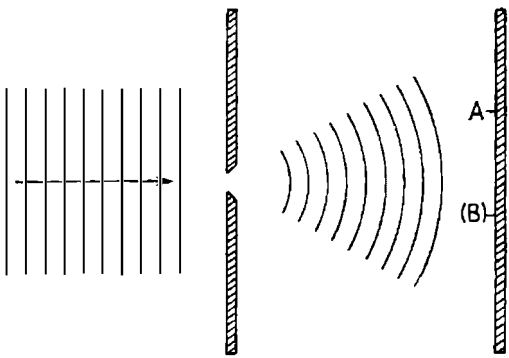


Fig. 1

să se prevadă cu exactitate punctul în care va sosi electronul pe placa fotografică. Se poate calcula numai probabilitatea ca, după o experiență, electronul să se găsească într-o regiune dată a plăcii. Dificultatea care apare într-o astfel de reprezentare și pe care Einstein o simțea atît de puternic, constă în aceea că dacă, în experiență, electronul este înregistrat într-un punct A al plăcii, atunci dispare posibilitatea observării unui efect analog într-un alt punct (B), deși legile propagării ondulatorii obișnuite nu permit o corelare între două astfel de evenimente.

Poziția lui Einstein a dat naștere la discuții aprinse într-un mic grup. În cadrul lui, Ehrenfest, care, de-a lungul anilor ne-a fost prieten intim amîndurora, a luat parte în modul cel mai activ și mai util. Fără îndoială, și noi toți recunoșteam acest lucru, în exemplul dat mai

sus, situația nu prezintă nici o analogie cu aplicarea statisticii în tratarea sistemelor complexe din mecanică. Mai de grabă ea reamintește fondul concluziilor inițiale ale lui Einstein însuși, în legătură cu unidirecționalitatea efectelor fiecărei radiații, care se opune net unei reprezentări ondulatorii simple (conform p. 42). Discuțiile erau axate pe problema dacă reprezentarea mecanicii cuantice epuizează posibilitățile de redare a fenomenelor observabile sau dacă, așa cum susținea Einstein, analiza ar putea fi dusă mai departe. În special trebuia lămurit dacă ar putea fi obținută o descriere mai completă a fenomenelor prin considerarea mai amănunțită a bilanțului energiei și impulsului în procesele individuale.

Pentru a explica sensul argumentelor lui Einstein ar fi ilustrativ să considerăm cîteva caracteristici simple ale bilanțului impuls-energie legat de localizarea unei particule în spațiu și în timp. În acest scop, vom examina cazul simplu al unei particule, care pătrunde prin orificiul unei diafragme, prevăzută, sau nu, cu un dispozitiv pentru închiderea și deschiderea orificiului (așa cum se prezintă în fig. 2 *a* și respectiv, 2 *b*). Liniile paralele și echidistante din partea stîngă a figurilor reprezintă trenul de unde plane, corespunzătoare stării de mișcare a unei particule, care, înainte de a ajunge la diafragmă, are un impuls P, legat de numărul de unde σ prin a doua ecuație (1). În conformitate cu difracția undelor care trec prin orificiu, starea de mișcare a particulei este reprezentată în partea dreaptă a diafragmei printr-un tren de unde sferice cu o deschidere unghiulară finită θ și, în cazul din fig. 2 *b*, cu o extindere radială finită. Deschiderea acestei stări implică, deci, o anumită imprecizie Δp a acelei componente a impulsului particulei care este paralelă cu diafragma. În cazul unei diafragme cu dispozitiv de închidere apare o imprecizie suplimentară ΔE, în ceea ce privește energia cinetică.

Imprecizia Δq în măsurarea poziției particulei în planul diafragmei este condiționată de raza a a orificiului ei. Deoarece $\theta \approx 1/\sigma a$ folosind (1), obținem tocmai $\Delta p \approx \theta P \approx \approx h\Delta q$, în concordanță cu relația de incertitudine *(3)*. Desigur, acest rezultat ar putea fi obținut și direct, observînd că, datorită expansiunii limitate a cîmpului undei în locul

fantei, componenta numărului de undă, care este paralelă cu planul diafragmei va fi afectată de o imprecizie $\Delta\sigma \approx 1/a \approx 1/\Delta q$. În mod analog, în cazul trenului de unde limitat din fig. 2 *b*, împrăştierea în frecvenţe a componentelor armonice este evident $\Delta\nu \approx 1/\Delta t$, unde Δt este inter-

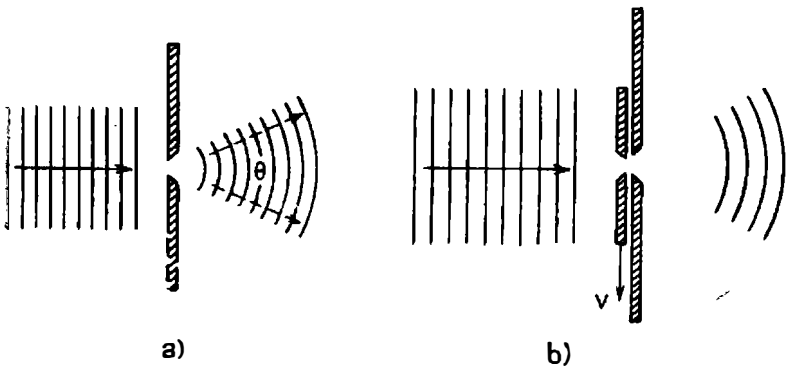


Fig. 2

valul de timp în care dispozitivul de intrare lasă deschis orificiul şi reprezintă, deci, imprecizia în timp a trecerii particulei prin diafragmă. Deci din (1) obţinem

$$\Delta E \cdot \Delta t \approx h, \tag{4}$$

în concordanţă, iarăşi, cu relaţia (3) pentru cele două variabile conjugate E şi t.

Din punctul de vedere al legilor de conservare, originea unor astfel de imprecizii, care intră în descrierea stării particulei după ce a trecut prin orificiu, se poate lega de posibilităţile ei de schimb de impuls sau energie cu diafragma sau cu dispozitivul de închidere. În ceea ce priveşte sistemul considerat în fig. 2 *a* şi 2 *b*, viteza diafragmei poate fi neglijată şi trebuie luat în considerare numai schimbul de impuls Δp, dintre particulă şi diafragmă. Dispozitivul de închidere, care lasă orificiul deschis un timp Δt, se mişcă însă cu o viteză considerabilă $v \approx a/\Delta t$ şi, din această cauză, un transfer de impuls Δq implică şi un schimb de energie cu particula.

$$v\Delta p \approx \frac{\Delta q \cdot \Delta p}{\Delta t} \approx \frac{h}{\Delta t},$$

adică de același ordin de mărime cu imprecizia ΔE dată de (4). Este deci posibilă o compensare între impuls și energie.

Problema pe care o ridică Einstein era : în ce măsură se poate realiza un control al transferului de impuls și energie, implicat de o localizare a particulei în spațiu și timp, pentru a se defini starea particulei după ce aceasta a trecut prin orificiu ? Trebuie avut în vedere că poziția și mișcarea diafragmei și obturatorului au fost presupuse mereu ca riguros raportate la sistemul de referință spațiu-timp. În descrierea stării acestor corpuri, o astfel de ipoteză implică o imprecizie esențială în privința impulsurilor și energiilor lor. Aceasta însă nu trebuie să influențeze prea mult vitezele, dacă diafragma și obturatorul sînt grele. Putem însă dori să cunoaștem cu o precizie suficientă impulsul și energia acestor componente ale instrumentului de măsurare, pentru a controla schimbul de impuls și energie cu particula studiată. În orice caz, în conformitate cu relațiile generale de imprecizie, vom pierde posibilitatea unei localizări precise în spațiu și timp. Avem deci de examinat în ce măsură această situație va dăuna intenției noastre de a folosi dispozitivul în totalitate. Vom vedea că această problemă crucială pune clar în evidență caracterul complementar al fenomenelor.

Să revenim un moment la cazul aranjamentului simplu redat în fig. 1, a cărui destinație nu a fost încă precizată. În cadrul formalismului mecanicii cuantice, datorită ipotezei că diafragma și placa fotografică au poziții bine definite în spațiu, este imposibil să se facă prevederi mai amănunțite în ceea ce privește punctul în care particula va fi înregistrată pe placă. Dacă admitem însă o imprecizie suficient de mare în cunoașterea poziției diafragmei, atunci va fi posibil, în principiu, controlul transferului de impuls către diafragmă. Deci se vor putea face prevederi mai amănunțite în ceea ce privește direcția traiectoriei electronului între orificiu și punctul de înregistrare. În reprezentarea mecanicii cuantice avem de-a face aici cu un sistem de două corpuri, format din diafragmă și par-

ticulă. Efectul Compton este de fapt tocmai o aplicare explicită a legilor de conservare la un astfel de sistem, deoarece, de exemplu, prin observarea reculului electronului cu ajutorul unei camere cu ceaţă, putem prevedea în ce direcţie va fi eventual observat fotonul împrăştiat.

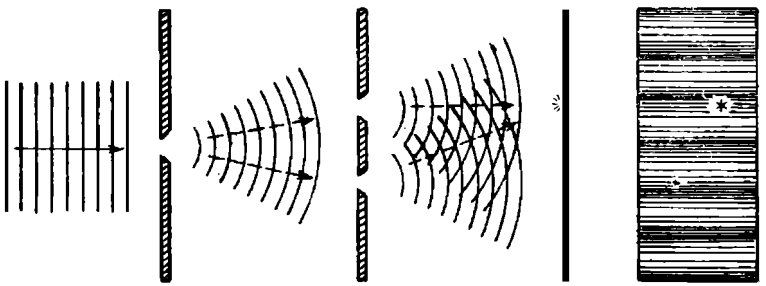


Fig. 3

În cursul discuţiilor, însemnătatea unor consideraţii de acest tip a fost lămurită în mod deosebit de interesant prin examinarea unui aranjament în care între diafragma cu fantă şi placa fotografică se introduce o altă diafragmă, cu două fante paralele, aşa cum este reprezentat în fig. 3. Dacă un fascicul paralel de electroni (sau fotoni) cade, dinspre stînga, pe prima diafragmă, în condiţii obişnuite vom observa pe placă o imagine de difracţie. Imaginea e indicată în dreapta figurii, prin umbre pe placa fotografică, prezentată frontal. În cazul unor fascicule intense, această imagine este construită prin acumularea unui număr mare de procese individuale, fiecare dînd naştere cîte unui singur spot pe placă. Din distribuţia acestor spoturi rezultă o lege simplă, care se poate obţine din analiza ondulatorie. Aceeaşi distribuţie poate fi regăsită prin tratarea statistică a mai multor experienţe, care au fost realizate cu fascicule atît de slabe încît, la o singură expunere, doar un singur electron (sau foton) poate sosi pe placa fotografică, în spotul indicat în figură printr-o mică stea. Aşa cum se arată prin săgeţi întrerupte, impulsul transferat primei diafragme ar putea să difere, după

cum se presupune că electronul trece prin fanta superioară sau prin fanta inferioară a celei de a doua diafragme. Einstein sugera că un control al transferului de impuls ar permite o analiză mai profundă a fenomenului și, în particular, ar face posibil să se afirme prin care din cele două fante a trecut electronul înainte de a ajunge pe placă.

O analiză amănunțită a arătat însă că un control al transferului de impuls ar implica o imprecizie în cunoașterea poziției diafragmei, ceea ce ar exclude apariția fenomenelor de interferență discutate. De fapt, dacă ω este un unghi mic pe care-l fac traiectoriile ipotetice ale unei particule, care trece prin fanta superioară sau inferioară, diferența transferului de impuls între aceste două cazuri, în conformitate cu (1), va fi egală cu $h\sigma\omega$. Orice control al impulsului diafragmei, cu o precizie suficientă pentru a se măsura această diferență, în conformitate cu principiul impreciziei, va impune o imprecizie minimă, comparabilă cu $1/\sigma\omega$, în poziția diafragmei. Dacă, așa ca în figură, diafragma cu două fante este pusă la jumătatea distanței dintre prima diafragmă și placa fotografică, se poate vedea că numărul de franje pe unitatea de lungime va fi $\sigma\omega$ și, deoarece orice imprecizie $1/\sigma\omega$ a poziției primei diafragme va produce o imprecizie egală în poziția franjelor, urmează că nu pot apărea efecte de interferență. Se poate ușor arăta că rezultatul rămîne adevărat dacă punem a doua diafragmă în oricare altă poziție, între prima diafragmă și placa fotografică. Rezultatul ar fi de asemenea obținut dacă, în locul primei diafragme, s-ar folosi pentru controlul sugerat al transferului de impuls, oricare altul din cele trei elemente.

Aceste rezultate au o consecință logică foarte însemnată. El ne arată că sîntem obligați a alege, *fie* numai să trasăm traiectoria unei particule, *fie* numai să observăm efectele de interferență, ceea ce ne îngăduie să scăpăm de obligația paradoxală de a trage concluzia că, în comportarea sa, un electron sau un foton va depinde de prezența unei fante într-o diafragmă prin care se poate demonstra că nu trece. Avem în acest caz un exemplu al modului în care apar fenomenele complementare în aranjamente experimentale care se exclud reciproc (cf. p. 57). În analiza efectelor cuantice sîntem în fața imposibilității de a

trasa o separare netă între comportarea independentă a obiectelor atomice şi interacţiunea lor cu instrumentele de măsurare folosite pentru stabilirea condiţiilor în care apar fenomenele.

Discuţiile noastre asupra poziţiei care trebuie luată în faţa acestei noi situaţii privind analiza şi sinteza experienţei, au atins, în chip firesc, multe aspecte ale gîndirii filozofice. În ciuda tuturor divergenţelor noastre, în modul de abordare şi în păreri, discuţiile au fost animate de un ton vesel general. De partea sa, Einstein m-a întrebat ironic dacă cred că autoritatea supremă recurge la jocul cu zaruri *(„...ob derr liebe Gott würfelt")*. Eu am replicat atrăgînd atenţia asupra marelui avertisment deja subliniat de gînditorii antici, de a nu se atribui Providenţei calităţi în vorbirea obişnuită. Îmi amintesc de asemenea cum, în punctul culminant al unei discuţii, Ehrenfest, în modul său afectuos de a-şi necăji prietenii, a făcut glumeţ aluzie la aparenta analogie a poziţiei actuale a lui Einstein cu cea a oponenţilor săi din teoria relativităţii ; Ehrenfest a adăugat însă imediat că nu va fi în stare să-şi găsească liniştea mintală pînă nu se va ajunge la înţelegere cu Einstein.

Interesul lui Einstein şi critica lui ne-au dat tuturor un imbold foarte serios ca să reexaminăm diferitele aspecte ale descrierii fenomenelor atomice. Pentru mine ele au constituit un stimulent bine venit pentru a cerceta mai amănunţit rolul jucat de instrumentele de măsurare. În timpul Conferinţei am încercat să schiţez într-o manieră pseudorealistă diferite aparate. Cîteva din acestea, cu care scoteam în evidenţă caracterul de excludere reciprocă a condiţiilor experimentale, sînt date în figurile care urmează. Astfel, studiul unui fenomen de interferenţă de tipul arătat în fig. 3 sugerează el însuşi folosirea unui aranjament experimental asemănător cu cel indicat în fig. 4. Părţile fixe ale acestui dispozitiv, folosite ca diafragme sau ca port-placă fotografică sînt bine fixate pe un suport comun. Într-un astfel de aranjament, în care cunoaşterea poziţiilor relative ale diafragmelor şi plăcii

fotografice este asigurată printr-o legătură rigidă, este evident imposibil un control al schimbului de impulsuri

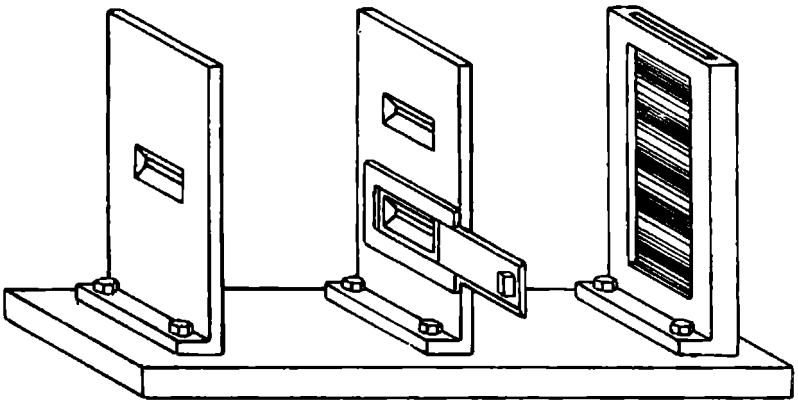


Fig. 4

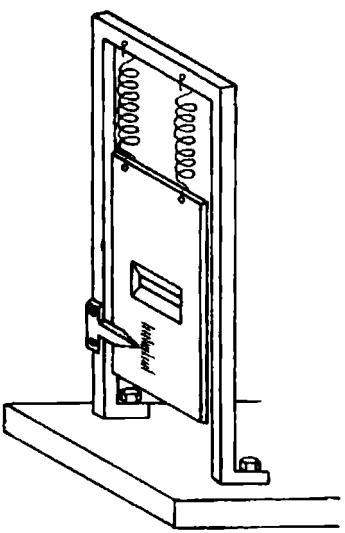


Fig. 5

dintre particulă și părți ale aparatului considerate separat. Singurul mod în care, cu un astfel de aranjament, putem să ne asigurăm că particula a trecut dintr-o fantă în a

doua este să acoperim a doua diafragmă cu un capac, așa cum indică figura. Dacă fanta este însă acoperită, nu mai poate fi vorba de fenomene de interferență. Pe placă vom

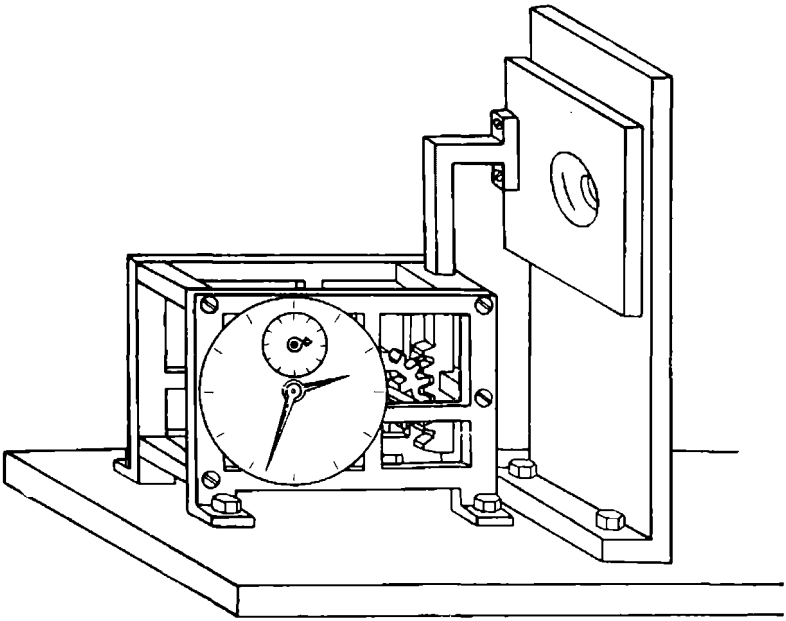


Fig. 6

observa o distribuție continuă, ca în cazul unei singure diafragme, schițat în fig. 1.

Este normal ca în studiul fenomenelor pe baza cărora realizăm un bilanț amănunțit al impulsurilor, unele părți din întregul dispozitiv să aibă posibilități de mișcare independentă față de celelalte. Un astfel de aparat este schițat în fig. 5. El asigură suspendarea unei diafragme, prin arcuri slabe, pe un cadru solid, înșurubat pe suportul pe care trebuie fixate și celelalte părți imobile. Scala de pe diafragmă, împreună cu indicatorul de pe cadru, sînt necesare în studiile de mișcare a diafragmei. În particular, este vorba de acelea în care ar putea fi necesară estimarea impulsurilor transferate diafragmei, pentru a se for-

mula concluzii privind devierea suferită de particulă la trecerea prin fantă. Totuşi, orice citire pe scală, oricum ar fi realizată, va implica o schimbare necontrolabilă a impulsului diafragmei. Va exista deci întotdeauna, în conformitate cu principiul de incertitudine, o legătură reciprocă între cunoaşterea poziţiei fantei şi precizia estimării impulsului.

Într-o redare semirealistă analogă, în fig. 6 se prezintă o parte dintr-un dispozitiv destinat studiului fenomenelor care, spre deosebire de cele tocmai discutate, impun o explicitare în coordonate temporale. Dispozitivul constă dintr-un obturator legat rigid cu un ceas robust, fixat pe un acelaşi suport cu o diafragmă. Pe suport se pot fixa şi alte elemente de acelaşi tip, controlate de acelaşi mecanism de ceasornic sau de alte ceasuri, etalonate în raport cu primul. În particular, rostul figurii este de a sublinia că un ceas este un mecanism a cărui funcţionare poate fi complet descrisă prin mecanica obişnuită. Funcţionarea sa nu este influenţată nici prin citirea poziţiei indicatoarelor, nici prin interacţiunea componentelor sale cu o particulă atomică. Pentru a se asigura deschiderea orificiului la un moment dat, se poate folosi, de exemplu, un instrument de acest tip, care să măsoare precis timpul necesar unui electron sau foton să ajungă de la diafragmă în vreun alt loc. Evident, nu va exista posibilitatea estimării transferului de energie pe obturator, pentru a se trage concluzii asupra energiei cu care particula a trecut prin diafragmă. Dacă ne interesează astfel de concluzii, sîntem desigur obligaţi să utilizăm un aranjament în care dispozitivele de obturare nu mai pot fi folosite ca ceasuri de precizie. În acest caz cunoaşterea momentului în care orificiul diafragmei este deschis implică o imprecizie, legată de precizia măsurării energiei prin relaţia generală (4).

Considerarea unor dispozitive fictive de acest fel, ca şi a modului lor de folosire mai mult sau mai puţin realist, s-a dovedit foarte instructivă. Ele ne-au îndreptat atenţia către caracteristici esenţiale ale fenomenelor. În această privinţă punctul nodal îl constituie distincţia ce trebuie făcută între *obiectele cercetate* şi *instrumentele de măsurare* cu care se definesc, în termeni clasici, condiţiile pentru apariţia fenomenelor. Ca o ilustrare a considera-

ţiilor precedente, putem remarca, în trecere, că nu are importanţă dificultatea sau chiar imposibilitatea practică de a se realiza experienţe care să implice un control foarte precis al transferului de impuls şi energie de la particule atomice la corpuri grele, ca diafragmele şi dispozitivele de obturare. Hotărîtor este numai faptul că, spre deosebire de instrumentele de măsură obişnuite, în aceste cazuri dispozitivele, împreună cu particulele, constituie în totalitate sistemul căruia trebuie să-i fie aplicat formalismul mecanicii cuantice. De altfel, pentru precizarea condiţiilor într-o anumită aplicaţie a formalismului este esenţial ca *întregul aranjament experimental* să fie luat în considerare. Introducerea unei piese suplimentare în aparat, de exemplu o oglindă pusă în drumul particulei, va implica de fapt noi efecte de interferenţă esenţiale, influenţînd prevederile asupra rezultatelor ce vor fi eventual înregistrate.

Einstein a atras de mult atenţia şi a revenit adesea asupra unui exemplu care ilustrează pregnant măsura în care ni se impune să renunţăm la vizualizarea fenomenelor atomice, datorită imposibilităţii de a le subdiviza. Punem o oglindă semireflectantă în calea unui foton, lăsînd doar două posibilităţi pentru direcţia sa de propagare. Fotonul *sau* poate fi înregistrat numai pe una din direcţii pe una din cele două plăci fotografice puse la mare distanţă pe direcţiile sus-menţionate, *sau*, prin înlocuirea plăcilor fotografice cu oglinzi, se pot observa efectele date de interferenţa celor două trenuri de unde reflectate. De aceea, în orice încercare de a reprezenta într-o imagine comportarea fotonului, ne întîlnim cu dificultatea de a fi obligaţi să spunem că, pe de o parte, fotonul alege *una* din cele două căi şi că, pe de altă parte, el se comportă ca şi cum le-ar fi străbătut pe *amîndouă*.

Tocmai argumente de acest tip reamintesc imposibilitatea de a subdiviza fenomenele cuantice şi scot în evidenţă ambiguitatea atribuirii de caracteristici fizice obişnuite obiectelor atomice. În particular, trebuie să se înţeleagă că — în afară de evaluarea dispunerii în spaţiu şi în timp a instrumentelor, care formează aranjamentul experimental — orice folosire fără ambiguitate a noţiunilor de spaţiu şi timp în descrierea fenomenelor atomice

este limitată la înregistrarea observațiilor, cum ar fi formarea de urme pe o placă fotografică sau efecte amplificatoare analoge, practic ireversibile, ca formarea unei picături de apă în jurul unui ion, într-o cameră cu ceață. Desigur, existența cuantei de acțiune determină în ultimă analiză proprietățile materialelor din care sînt construite instrumentele de măsurare. De ea depind dispozitivele de funcționare și înregistrare. Acest lucru nu este însă important pentru problemele discutate aici și legate de caracterul corespunzător și complet al descrierii mecanicii cuantice.

La Congresul Solvay, în aceeași ședință în care Einstein și-a formulat obiecțiile sale generale, au fost discutate util și sub diferite unghiuri de vedere și problemele menționate [10]. Cu această ocazie s-a născut de asemenea și o discuție interesantă asupra modului în care trebuie vorbit despre fenomenele pentru care se pot face numai previzderi cu caracter statistic. Prin terminologia propusă de Dirac, ca și în cazul producerii proceselor individuale, trebuie să considerăm că avem de a face cu o alegere făcută de „natură". Heisenberg sugera însă că ar trebui să spunem că avem de-a face cu o selecție impusă de „observator" prin construcția dispozitivelor și prin citirea înregistrărilor acestora. Orice terminologie de acest tip pare totuși echivocă, deoarece, pe de o parte, este greu de admis să învestim natura cu o voință în sens obișnuit, iar pe de altă parte, este cu siguranță imposibil pentru observator să influențeze evenimente care pot să apară în condiții pe care el le-a stabilit. După părerea mea nu există altă alternativă decît aceea de a admite că în acest domeniu experimental avem de-a face cu fenomene individuale și că posibilitățile de a manevra instrumentele de măsurare ne permit numai să facem o selecție între diferitele fenomene complementare pe care dorim să le studiem.

Problemele epistemologice abordate aici, au fost tratate mai explicit în articolul meu din numărul din „Naturwissenschaften" închinat celei de a 70-a aniversări a lui Planck (1929). În acel articol era făcută și o comparație între învățătura trasă din descoperirea cuantei universale

[10] *Ibidem*, p. 248 și urm.

de acțiune și progresul care a decurs din descoperirea vitezei finite a luminii, care, prin munca de pionierat a lui Einstein, a clarificat atît de mult principiile de bază ale filozofiei naturii. Accentul pus, în teoria relativității, pe dependența tuturor fenomenelor de sistemul de referință a deschis drumuri cu totul noi, trasînd legi fizice generale, adevărate în domenii diferite. Așa cum se argumenta atunci, în mecanica cuantică înțelegerea logică a regularităților certe, care guvernează fenomenele atomice, impune să se recunoască că nu poate fi făcută o separare netă între comportarea individuală a obiectelor și interacțiunea lor cu instrumentele de măsurare, care definesc sistemul de referință.

Teoria cuantică creează astfel o situație nouă în fizică. Atragem însă atenția asupra analogiei ei foarte strînse cu situația analizei și sintezei experiențelor din multe alte domenii de cunoaștere și de interes uman. După cum se știe, multe greutăți în biologie provin din diferitele moduri de trasare a liniilor de demarcație dintre obiect și subiect, în analiza variatelor aspecte ale experiențelor psihice. În realitate, cuvinte ca „gînduri" și „sentimente", la fel de indispensabile în descrierea varietății și scopului vieții conștiente, sînt folosite într-un mod complementar analog cu coordonatele spațiu-timp și cu legile de conservare dinamică din fizica atomică. O formulare exactă a acestor analogii implică, evident, încurcături de terminologie. Poziția autorului este poate mai bine redată într-un pasaj din articolul citat. În el se afirmă că relațiile reciproc-exclusive vor exista mereu, independent de modul de exprimare și de încercările de definire strictă. Însă țelul principal al considerațiilor acestea, inspirate în mare măsură de dorința de a modifica poziția lui Einstein, a fost indicarea posibilității de reliefare a problemelor epistemologice, generale, pe baza informațiilor obținute în studiul unor experiențe fizice noi, principial simple.

La următoarea întîlnire cu Einstein, la conferința Solvay din 1930, discuțiile au luat o întorsătură aproape

dramatică. Se formulase punctul de vedere că ar fi exclus un control al schimbului de impuls și de energie între obiecte și instrumente de măsurare, dacă aceste instrumente servesc la definirea sistemului de referință spațio-temporal al fenomenelor. Ca obiecție, Einstein i-a opus

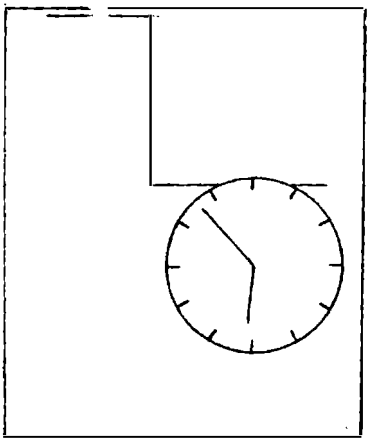


Fig. 7

argumentul că un astfel de control ar fi de fapt posibil, dacă ar fi luate în considerare cerințele teoriei relativității. În particular, legătura generală dintre energie și masă exprimată în faimoasa formulă a lui Einstein

$$E = mc^2, \tag{5}$$

ar permite, printr-o simplă cîntărire, să se măsoare energia totală a oricărui sistem. În acest fel se poate controla, în principiu, energia ce-i este transferată sistemului cînd el interacționează cu un obiect atomic.

Ca montaj convenabil pentru un asemenea scop Einstein propunea un dispozitiv, redat în fig. 7, constînd dintr-o cutie cu un orificiu într-unul din pereții laterali. Orificiul poate fi închis sau deschis cu ajutorul unui obturator mișcat de mecanismul unui ceasornic aflat în interiorul cutiei. Cutia conține la început o anumită cantitate de radiație. Ceasornicul este reglat astfel încît să deschidă obturatorul la intervale alese de timp, foarte

mici, în așa fel încît să fie posibil, cu orice precizie dorim, ca prin orificiu să treacă cîte un singur foton. De altfel, ar fi aparent posibil, de asemenea, ca, prin cîntărirea întregii cutii înainte și după ce are loc acest eveniment, să se măsoare energia fotonului cu orice precizie dorită; posibilitatea aceasta este însă în contradicție evidentă cu imprecizia reciprocă a mărimilor timp și energie din mecanica cuantică.

Argumentul a ridicat serioase obiecții și a dus la o examinare profundă a întregii probleme. La sfîrșitul acestor discuții, la care Einstein a contribuit efectiv, a devenit clar că argumentul nu poate fi sprijinit. De fapt, pentru examinarea problemei a fost necesară o analiză mai atentă a consecințelor identificării masei inerțiale cu masa gravitațională, implicată de folosirea relației (5). În particular, era esențial să se ia în considerație legătura dintre viteza unui ceas și poziția sa într-un cîmp gravitațional — binecunoscută din deplasarea spre roșu a liniilor din spectrul solar — care decurge din principiul lui Einstein al echivalenței dintre efectele gravitaționale și fenomenele observate în sisteme de referință accelerate.

Discuțiile noastre s-au concentrat asupra posibilității folosirii unui aparat, care ar îngloba dispozitivul lui Einstein. El este prezentat în fig. 8 în aceeași manieră semirealistă ca și cele din figurile precedente. Cutia este prezentată în secțiune pentru a se vedea interiorul ei. Ea este suspendată de un dinamometru și este prevăzută cu un indicator pentru a i se citi poziția pe o scală fixată de suportul dinamometrului. Cîntărirea cutiei poate fi deci realizată cu orice precizie Δm dorim, după ce s-a adus dinamometrul în poziția zero, cu ajutorul unor greutăți convenabile. Esențial este însă că orice determinare a acestei poziții cu o precizie Δq va implica o precizie minimă Δp în controlul impulsului cutiei, care e legată de Δq prin relația (3). Această imprecizie trebuie să fie, evident, mai mică decît impulsul total, care, în tot intervalul T de cîntărire, poate fi produs de acțiunea cîmpului gravitațional asupra unui corp de masă Δm, sau

$$\Delta p \approx \frac{h}{\Delta q} < T \cdot g \cdot \Delta m, \qquad (6)$$

unde g este constanta gravitațională. Prin urmare, cu cît este mai mare precizia în citirea lui q cu indicatorul, cu atît este mai lung intervalul T de cîntărire, dacă trebuie

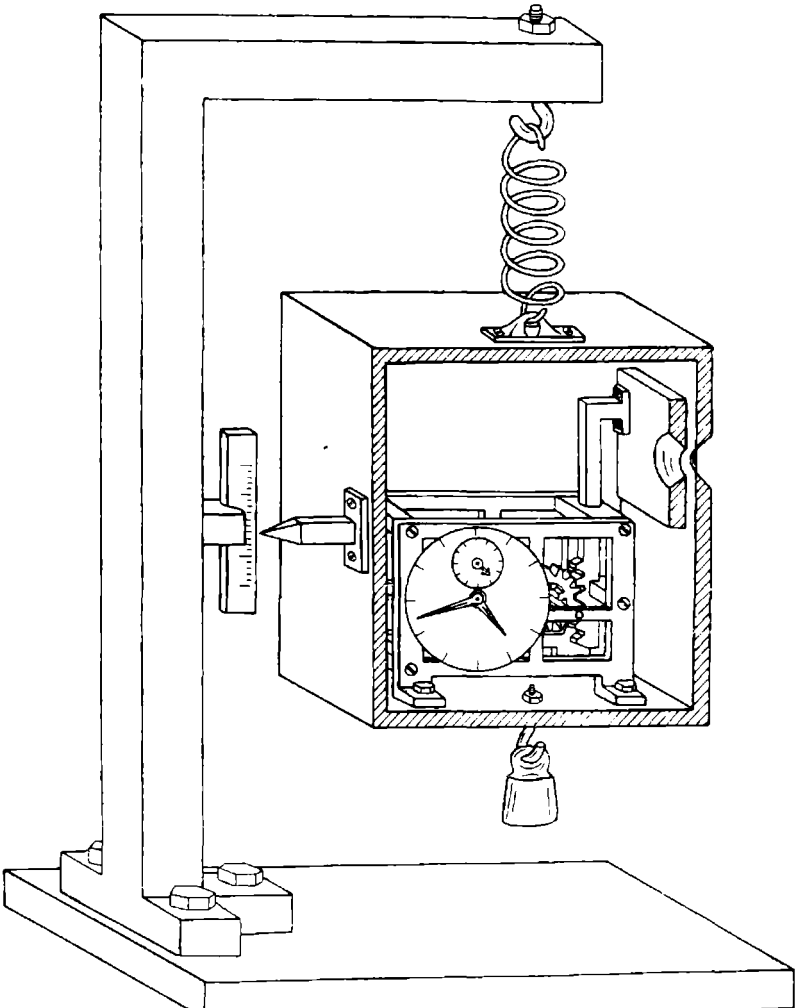


Fig. 8

obținută o precizie Δm dată în cîntărirea cutiei și conținutului ei.

Acum, conform teoriei relativității generalizate, cînd un ceas este deplasat în direcția forței gravitaționale cu Δq, își va schimba mersul. De aceea, citirea lui după un interval de timp T va diferi cu o cantitate ΔT dată de relația

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{c^2} \cdot g \cdot \Delta q. \qquad (7)$$

Comparînd (6) cu (7) vedem că, după cîntărire, va exista o imprecizie

$$\Delta T > \frac{h}{c^2 \Delta m}$$

în cunoșterea indicațiilor date de ceas. Împreună cu formula (5), această relație duce din nou la

$$\Delta T \cdot \Delta E > h,$$

în concordanță cu principiul impreciziei. Prin urmare, orice folosire a aparatului ca mijloc de măsurare precisă a energiei fotonului, ne va împiedica să controlăm momentul ieșirii lui din cutie.

Discuția aceasta a ilustrat forța și consistența argumentelor relativiste. De asemenea, ea a scos în evidență încă o dată necesitatea de a se discerne, în studiul fenomenelor atomice între instrumentul de măsură propriu-zis, care servește ca sistem de referință, și acele părți ale lui care trebuie considerate obiecte supuse studiului și în privința cărora nu pot fi neglijate efectele cuantice. Einstein nu s-a opus acestei confirmări deosebit de sugestive a calității și capacității largi de descriere a mecanicii cuantice. Totuși, ulterior, într-o conversație avută cu mine, el și-a exprimat neliniștea în ceea ce privește absența unor principii de bază, strîns legate între ele, în cadrul cărora toate problemele să poată fi puse în acord pentru explicarea naturii. Din punctul meu de vedere, am replicat că, atunci cînd trebuie să ordonăm un domeniu experimental cu totul nou, putem să ne păstrăm încrederea profundă în orice principiu, formulat suficient de larg cu condiția

ca el să nu implice neconcordanţe logice. În această privinţă, formalismul matematic al mecanicii cuantice îndeplineşte în mod sigur toate cerinţele.

Congresul Solvay din 1930 a fost ultimul prilej în care, în discuţiile comune cu Einstein, am mai putut beneficia de prezenţa stimulatoare şi împăciuitoare a lui Ehrenfest. În 1933, puţin înaintea morţii sale, profund deplînsă, el mi-a relatat că Einstein era departe de a fi mulţumit. Cu obişnuita lui ascuţime, Einstein putea discerne noi aspecte ale problemei, care sprijinea atitudinea sa critică. Astfel, la o examinare ulterioară a posibilităţilor de folosire a unui dispozitiv de cîntărire, Einstein a găsit variante ale procedeului iniţial. Chiar dacă ele nu-i permiteau utilizarea dispozitivului în scopul dorit iniţial, ele păreau să sporească paradoxurile în calea posibilităţilor unei rezolvări logice. Astfel, Einstein a remarcat că în urma cîntăririi preliminare a cutiei cu ceas şi după eliberarea fotonului rămînem încă în situaţia de a alege, fie să repetăm cîntărirea, fie să deschidem cutia pentru a compara citirea ceasului cu o scară de timp etalon. Prin urmare, în această etapă sîntem încă liberi să alegem dacă dorim să tragem o concluzie asupra energiei fotonului, sau asupra momentului în care el părăseşte cutia. Deci, fără a interfera în vreun fel cu fotonul, din momentul eliberării sale pînă la interacţiunea sa ulterioară cu vreun instrument de măsurare corespunzător, sîntem capabili să facem prevederi exacte referitoare *fie* la momentul ieşirii sale, *fie* la cantitatea de energie eliberată prin absorbţia sa. Totuşi, deoarece, în conformitate cu formalismul mecanicii cuantice, specificarea stării unei particule izolate nu poate implica atît o corelare bună cu scara timpului, cît şi o stabilire exactă a energiei, formalismul nu pare să asigure mijloace pentru o descriere adecvată.

Spiritul cercetător al lui Einstein a scos la iveală încă odată un aspect specific situaţiei din mecanica cuantică. El ilustrează foarte pregnant cît de mult sînt depăşite aici obişnuitele explicaţii ale fenomenelor naturii. Eu, însă, nu am putut fi de acord cu scopul observaţiilor sale, ce mi-au fost comunicate de Ehrenfest. După părerea mea, nu există decît două căi pentru a judeca ca neadecvat un

formalism matematic, care este concordant din punct de vedere logic : fie că se poate demonstra abaterea consecinţelor sale de la datele experimentale, fie că se poate dovedi că prevederile sale nu epuizează posibilităţile de observare. Dar argumentaţia lui Einstein nu putea fi îndrumată către vreunul din aceste criterii. De fapt, trebuie să înţelegem că în problema discutată nu avem de-a face cu *un singur* aranjament experimental, cel indicat, ci este vorba de *două* montaje diferite, reciproc exclusive. Într-unul din montaje, balanţa împreună cu o parte din aparat este folosită, asemenea unui spectrometru, pentru studiul energiei transferate de un foton ; în celălalt montaj, un obturator comandat de un ceas etalonat, împreună cu un alt dispozitiv analog, reglat precis în timp faţă de ceas, sînt folosite pentru studiul timpului de propagare al unui foton pe o distanţă dată. În ambele cazuri, aşa cum a presupus şi Einstein, efectele observate pot fi în completă concordanţă cu prevederile teoriei.

Problema implică din nou necesitatea de a considera montajul experimental *în totalitate*, indicaţie care este obligatorie pentru orice aplicare corectă a formalismului mecanicii cuantice. În treacăt, putem adăuga că paradoxuri de tipul considerat de Einstein se întîlnesc şi în montaje foarte simple, ca cel schiţat în fig. 5. De fapt, după o măsurare preliminară a impulsului diafragmei, după trecerea unui electron sau a unui foton prin fontă, ni se oferă, în principiu, posibilitatea unei alegeri. Putem fie să repetăm măsurarea impulsului, fie să controlăm poziţia diafragmei. Deci, putem face alternativ, prevederi legate de tipurile de observaţii urmărite. În privinţa obţinerii de efecte observabile cu un anumit aranjament experimental, trebuie de asemenea adăugat că, probabil nu se poate face o distincţie între situaţia în care planurile noastre de montaj sau de manevră a instrumentelor componente sînt dinainte stabilite, şi situaţia în care preferăm să terminăm planurile noastre într-o etapă mai tîrzie, în care particula este deja în drum de la un instrument la altul.

În descrierea mecanic-cuantică, libertatea noastră de a construi şi a manevra aranjamentul experimental îşi găseşte o expresie proprie în posibilitatea de a alege parametrii definiţi în mod clasic, care sînt introduşi în res-

pectiva explicație a formalismului. În adevăr, în această privință, mecanica cuantică prezintă o corespondență cu situația obișnuită din fizica clasică. Corespondența aceasta apare deosebit de accentuat atunci cînd se consideră individualitatea proprie fenomenelor cuantice. Punctul de vedere formulat de Einstein a constituit din nou un imbold foarte bine venit pentru a se cerceta și clarifica aspectele esențiale ale situației.

Congresul Solvay din 1933 a fost consacrat structurii și proprietăților nucleelor atomice. În acest domeniu tocmai se făcuseră mari progrese în acea perioadă, atît datorită descoperirilor experimentale, cît și datorită unor noi aplicații rodnice ale mecanicii cuantice. În legătură cu aceasta trebuie reamintit că tocmai fuseseră obținute, în studiul transformărilor nucleare, evidențe, care verificau mult mai direct legea fundamentală a lui Einstein privind echivalența masei cu energie. Einstein se dovedise un îndrumător deosebit în studiile de fizică nucleară. Trebuie de asemenea menționat faptul că recunoașterea intuitivă de către Einstein a corelației intime dintre legea trasformărilor radioactive și regulile probabilistice care controlează efectele individuale ale radiației (cf. p. 50) a fost confirmată de explicarea prin mecanica cuantică a dezintegrărilor nucleare spontane. De fapt, avem în acest caz un exemplu tipic de descriere statistică. Relațiile complementare dintre conservarea energiei și impulsului și coordonatele spațiu-timpului sînt puse în evidență în modul cel mai pregnant în paradoxul binecunoscut al pătrunderii particulei prin bariere de potențial.

Einstein însuși nu a asistat la acest congres, care a avut loc într-o perioadă întunecată de evoluții politice tragice. Perioada aceasta avea să influențeze în mod deosebit și soarta lui și avea să sporească foarte mult aportul său la cauza umanității. Cu cîteva luni înainte am făcut o vizită la Princeton. Einstein era acolo oaspete al nou-înființatului Institut for Advanced Study, de care avea să devină în scurt timp legat permanent. Am avut atunci posibilitatea de a vorbi din nou cu el despre aspectele

epistemologice ale fizicii atomice. Deosebirea dintre modurile noastre de abordare şi de exprimare ridica însă piedici în calea unei înţelegeri reciproce. Aşa cum reiese din cele relatate, pînă atunci la discuţii luau parte un număr relativ mic de persoane. Curînd însă atitudinea lui Einstein, de critică a punctelor de vedere ale teoriei cuantice, la care aderaseră numeroşi fizicieni, a fost făcută cunoscută public printr-o lucrare cu titlul „Poate fi considerată completă descrierea realităţii fizice dată de mecanica cuantică ?", publicată în 1935 de Einstein, Podolsky şi Rosen[11].

Argumentaţia acelui articol era bazată pe un criteriu pe care autorii îl exprimau în următoarea frază : „Dacă, fără a perturba în vreun fel un sistem putem prevedea cu certitudine (adică cu o probabilitate egală cu unitatea) valoarea unei mărimi fizice, atunci există un element de realitate fizică, care corespunde acestei mărimi fizice". Articolul face o expunere elegantă a consecinţelor formalismului mecanicii cuantice în cazul reprezentării stării unui sistem format din două părţi, care au interacţionat un interval limitat de timp. În continuare se arată că diferite mărimi, a căror determinare nu poate fi realizată în cadrul reprezentării uneia din părţile sistemului, pot fi totuşi prezise din măsuri făcute în cadrul celeilalte părţi a sistemului. În conformitate cu criteriul lor, autorii trag deci concluzia că mecanica cuantică nu poate „da o descriere completă a realităţii fizice". Ei îşi exprimă convingerea că este posibilă dezvoltarea unei teorii mai corespunzătoare a fenomenelor.

Datorită luciditătii şi caracterului aparent incontestabil al argumentării, articolul lui Einstein, Podolsky şi Rosen a provocat agitaţie printre fizicieni şi a jucat un rol însemnat şi în discuţiile de filozofie în general. Cu siguranţă că lucrarea apărută avea un caracter foarte subtil. Ea scotea bine în evidenţă cît de departe sîntem, în mecanica cuantică, de posibilitatea unei reprezentări prin imagini. Se poate însă vedea că avem de-a face şi în acest caz cu probleme de exact acelaşi tip cu cele ridicate

[11] A. Einstein , B. Podolsky şi N. Rosen, „Phys. Rev.", **47**, 777, 1935.

de Einstein în discuţiile precedente. Într-un articol care a apărut cîteva luni mai tîrziu[12], am încercat să arăt că, din punctul de vedere al complementarităţii, inconsistenţele aparente erau complet înlăturate. Tendinţa argumentării era în esenţă similară cu cea expusă în paginile precedente, dar, în scopul reamintirii felului în care se discuta în acea vreme, cred că voi putea fi scuzat că citez anumite pasaje din articolul meu.

Astfel, după o referire la concluziile obţinute de Einstein, Podolsky şi Rosen pe baza criteriului formulat scriam :

„Însă o astfel de argumentare ar părea foarte convenabilă pentru a indica neconsistenţa răsunetului descrierii mecanicii cuantice, bazat pe un formalism matematic coerent, care include automat orice procedeu de măsurare de felul celui indicat. Contradicţia aparentă dezvăluie de fapt doar o nepotrivire esenţială a punctului de vedere obişnuit al filozofiei naturii privind redarea raţională a fenomenelor fizice, de tipul celor cu care se ocupă mecanica cuantică. Într-adevăr, *interacţiunea finită dintre obiect şi aparatele de măsură* este condiţionată de însăşi existenţa cuantei de acţiune. Ea verifică faptul că, datorită imposibilităţii de control a interacţiunii obiectului cu instrumentul de măsură cînd acesta îşi îndeplineşte funcţia, se impune cu necesitate renunţarea definitivă la idealul clasic de cauzalitate. Se impune, de asemenea, revizuirea radicală a atitudinii noastre faţă de problema realităţii fizice. De fapt, aşa cum vom vedea, un criteriu al realităţii, de tipul celui propus de autorii citaţi, conţine — cu toată grija cu care pare făcută formularea — o ambiguitate esenţială, dacă este aplicat problemelor reale de care ne ocupăm acum."

În cele ce urmau se discuta şi problema specială tratată de Einstein, Podolsky şi Rosen. Se arăta astfel că urmările formalismului la reprezentarea unui sistem compus din două obiecte atomice în interacţiune, corespund argumentelor simple menţionate mai sus. Este vorba de relatările anterioare, legate de discuţia asupra aranjamentelor experimentale convenabile pentru studiul fenomenelor complementare. De fapt, orice pereche p şi q de variabile

[12] N. Bohr, „Phys. Rev.", **48**, 696, 1935.

spațio-temporale conjugate ascultă de regula multiplicării necomutative exprimată prin relația (2). Ele pot fi deci determinate nu numai cu impreciziile date de (3). Totuși, diferența $q_1 - q_2$ dintre două coordonate spațiale, care se referă la componente ale sistemului, va comuta cu suma $p_1 + p_2$ a componentelor de impuls corespunzătoare, așa cum decurge direct din comutativitatea lui q_1 cu p_2 și a lui q_2 cu p_1 De aceea atît $q_1 - q_2$ cît și $p_1 + p_2$ pot fi stabilite precis pentru o stare a sistemului complex. Prin urmare putem prevedea fie valorile lui q_1 fie ale lui p_1, dacă se determină q_2 sau, respectiv, p_2 prin măsurări directe. Dacă, drept părți ale sistemului considerăm o particulă și o diafragmă de tipul celei schițate în fig.5, vedem că posibilitățile de a specifica starea particulei prin măsurări pe diafragmă corespund tocmai situației descrise la p. 67. Ea a fost discutată ulterior, la p. 77, unde s-a menționat că, după ce particula a trecut prin diafragmă, avem în principiu posibilitatea de a alege între a măsura poziția diafragmei sau impulsul ei. În fiecare caz, vom putea face prevederi în ceea ce privește observările ulterioare ale particulei. Așa cum s-a subliniat în repetate rînduri, este esențial în acest caz faptul că astfel de măsurări cer aranjamente experimentale reciproc-exclusive.

Argumentarea acestui articol era rezumată în pasajul următor :

„Din punctul nostru de vedere remarcăm că redactarea criteriului realității fizice menționat mai sus, propus de Einstein, Podolsky și Rosen, conține o ambiguitate în ceea ce privește semnificația expresiei «fără a perturba într-un mod oarecare un sistem». Într-adevăr, într-un caz de tipul celui tocmai considerat nu poate fi vorba de o perturbare mecanică a sistemului cercetat, în timpul ultimei etape critice a procesului de măsurare. Totuși, chiar și în această etapă este esențială problema *influențării condițiilor înseși care definesc tipurile posibile de previziuni legate de comportarea viitoare a sistemului.* Aceste condiții constituie un element propriu din descrierea oricărui fenomen căruia i se poate atribui în mod convenabil termenul de «realitate fizică». Vedem deci că argumentarea autorilor menționați nu poate justifica concluzia lor că descrierea mecanic-cuantică este principial incompletă. Dim-

potrivă, această descriere, așa cum rezultă discuția de mai sus, poate fi caracterizată ca o folosire rațională a tuturor posibilităților pentru o interpretare fără ambiguitate a măsurilor. Ea este compatibilă cu interacțiunea finită și necontrolabilă dintre obiecte și instrumentele de măsură din domeniul teoriei cuantice. De fapt, numai caracterul de excludere reciprocă propriu oricărui procedeu experimental, care permite definirea univocă de mărimi fizice complementare, este acela care face loc unor legi fizice noi, a căror coexistență poate părea la prima vedere de neîmpăcat cu principiile de bază ale științei. Tocmai această situație, cu totul nouă în cea ce privește descrierea fenomenelor fizice, este cea pe care trebuie să o caracterizeze noțiunea de complementaritate".

Recitind aceste pasaje, sînt pe deplin conștient de ineficacitatea exprimării. Ea trebuie să fi făcut foarte greoaie înțelegerea scopului argumentației. Argumentarea dorea să scoată în evidență ambiguitatea esențială, implicată de orice referiri la atributele fizice ale obiectelor, în cazul fenomenelor în care nu pot fi făcute distincții nete între comportarea obiectelor însăși și interacțiunea lor cu instrumentele de măsură. În cele de față se face o relatare a discuțiilor avute în anii precedenți cu Einstein, discuții care au contribuit în deosebită măsură la familiarizarea noastră cu situația din fizica cuantică. Eu sper că pe baza ei se va putea totuși contura mai limpede nevoia revizuirii totale a principiilor de bază în explicarea fizicii și a reinstaurării ordinei logice în acest domeniu de experiență.

Părerile personale ale lui Einstein din acea perioadă sînt prezentate într-un articol Fizică și realitate, publicat în 1936 în „Journal of the Franklin Institute"[13]. El începe cu o expunere foarte clară a dezvoltării treptate a principiilor fundamentale din teoriile fizicii clasice și a legăturii lor cu problema realității fizice. Einstein susține aici că descrierea mecanic-cuantică trebuie considerată pur și simplu ca un mijloc de a relata ceva despre comportarea medie a unui mare număr de sisteme atomice. Atitudinea sa de neîncredere în sensul că s-ar putea

[13] A. Einstein, „J. Franklin Inst.", **221**, 349, 1936.

oferi astfel o descriere completă a fenomenelor individuale, este exprimată prin următoarele cuvinte: „Să cred aceasta este, fără contradicții, logic posibil; ea este însă atît de opusă spiritului meu științific încît nu pot să nu caut mai întîi o concepție mai completă".

Chiar dacă o atitudine de acest fel ar părea serios cumpănită, ea implică fără îndoială o eliminare a întregii argumentări expuse în cele precedente, care și-a propus să arate că în mecanica cuantică nu avem de-a face cu o renunțare arbitrară la analiza mai detaliată a fenomenelor atomice, ci cu recunoașterea că o analiză de acest tip este *în principiu* exclusă. Individualitatea ciudată a efectelor cuantice în ceea ce privește înțelegerea unor evidențe bine definite ne pune în fața unei situații noi, nemaiîntîlnite în fizica clasică. Ea este de neîmpăcat cu ideile obișnuite, potrivite pentru orientarea noastră într-o experiență obișnuită. În această privință, teoria cuantică a cerut o nouă revizuire a principiilor de bază, pentru o folosire fără ambiguitate a noțiunilor elementare. Ea constituie o etapă de dezvoltare care, de la apariția teoriei relativității, a fost atît de caracteristică științei moderne.

În anii următori, aspectele filozofice ale situației din fizica atomică au trezit interesul unor cercuri tot mai largi. Ele au fost în mod deosebit discutate la Copenhaga, la al doilea Congres internațional pentru unitate în știință (iulie, 1936). Am încercat, într-o comunicare făcută cu acea ocazie[14], să subliniez analogia ce există între aspectele epistemologice generate de limitele impuse de descrierea cauzală în fizica atomică și situațiile întîlnite în alte domenii ale cunoașterii. O țintă însemnată a unor astfel de paralele a fost să se atragă atenția asupra nevoilor din multe domenii de interes general uman, în care există probleme analoge celor apărute în teoria cuantică. Se urmărea deci să se dea o bază mai familiară modului de exprimare aparent extravagant pe care l-au creat fizicienii pentru a face față greutăților lor acute.

[14] N. Bohr, „Philosophy of science", **4**, 289, 1937.

Caracteristicile complementare apar evidente în psihologie și au fost deja menționate (cf. p. 71). Exemple de relații de acest fel pot fi indicate și în biologie, în special la compararea punctelor de vedere mecanicist și vitalist. În ceea ce privește tocmai această ultimă problemă, în raport cu observația, ea a format obiectul unui referat prezentat de mine, la Congresul internațional de terapie cu radiații luminoase, ținut la Copenhaga în 1932[15]. Printre altele, arătam că însuși paralelismul psiho-fizic, prin dezvoltarea fizicii atomice, a dobîndit un sens mai larg decît cel luat în considerare de Leibnitz și Spinoza. Aceasta ne obligă la o schimbare de atitudine în problema explicării, mai conformă cu înțelepciunea străbună, care spune că atunci cînd căutăm armonia vieții, nu trebuie să uităm niciodată că, în drama existenței, noi înșine sîntem atît actori, cît și spectatori.

Explicații de acest fel pot trezi la mulți impresia unui misticism profund, străin spiritului științific ; din această cauză la Congresul sus-menționat, din 1936, am căutat să combat o astfel de înțelegere greșită și să explic că singura problemă ce rămînea era aceea a efortului necesar clarificării, în fiecare domeniu de cunoaștere, a condițiilor în care se realizează analiza și sinteza fenomenelor. Mă tem și azi că am avut puțin succes în a convinge pe ascultătorii mei în această privință. Pentru ei, dezacordul dintre fizicieni înșiși era un motiv firesc de scepticism în ceea ce privește explicarea fenomenelor naturii.

Într-o nouă discuție cu Einstein, la Princeton, în 1937, am avut o controversă amuzantă cu privire la poziția pe care Spinoza ar fi luat-o dacă ar fi trăit să vadă progresul din zilele noastre. Eu am reamintit din nou cu fermitate, însemnătatea unei atenții deosebite în privința tuturor problemelor de terminologie și dialectică.

Aceste aspecte ale situației au fost discutate în mod special la un Congres de la Varșovia, din 1938, pregătit de Institutul Internațional de Cooperare Intelectuală al Ligii Națiunilor[16]. În anii precedenți fizica cuantică cunos-

[15] *II-e Congrès International de la Lumière*, Copenhague, 1932 (retipărită în prezentul volum, p. 15).

[16] *New Theories in Physics*, Paris, 1938, p. 11.

cuse un progres deosebit datorită unui număr de descoperiri fundamentale privind constituția și proprietățile nucleului atomic. De asemenea se realizează însemnate progrese ale formalismului matematic, ținîndu-se seama de cerințele teoriei relativității. În ultima privință, ingenioasa teorie cuantică a electronului, dată de Dirac, oferea cea mai reliefată ilustrare a capacității și fertilității modului de reprezentare prin metoda mecanicii cuantice. De fapt, în fenomenele de creare și de anihilare de perechi de ioni sîntem strîns legați de aspectele neclasice ale statisticii cuantice, exprimate în principiul de ecluziune. Acestea au impus o renunțare încă și mai accentuată la o explicație folosind termenii unei reprezentări în imagini.

Totuși, discuția asupra problemelor epistemologice din fizica atomică atrăgea atenția mai mult ca niciodată. În discutarea punctelor de vedere formulate de Einstein asupra incompletitudinii modului de descriere al mecanicii cuantice, m-am ocupat mai direct de probleme de terminologie. În legătură cu aceasta, am luptat, în special, contra unor fraze, care se găsesc adesea în literatura de fizică, de tipul „perturbarea fenomenelor prin observare" sau „crearea de atribute fizice la obiectele atomice prin măsurători". Astfel de fraze, ce pot servi pentru a reaminti paradoxurile aparente din teoria cuantică, sînt în același timp capabile să producă confuzii, deoarece cuvinte de tipul „fenomene" și „observații", ca și „atribute" și „măsurători", sînt folosite într-un sens compatibil numai cu limbajul obișnuit și cu definiția practică.

Eu am susținut, ca o cale de exprimare mult mai corespunzătoare, aplicarea cuvîntului *fenomen* exclusiv pentru referiri la observațiile obținute în condiții specificate, în care se include o relatare asupra întregului aranjament experimental. Într-o astfel de terminologie, problema de observare este eliberată de orice complicație specială, deoarece, în experiențele reale, toate observațiile sînt exprimate în relatări clare, care se referă de exemplu la înregistrarea punctului în care un electron ajunge pe o placă fotografică. Mai mult, un limbaj de acest tip este convenabil tocmai pentru a sublinia că interpretarea fizică convenabilă a formalismului simbolic al mecanicii cuantice are semnificație numai la unele preziceri cu caracter determi-

nist sau statistic. Aceste preziceri sînt legate de fenomenele individuale, care apar în condiții definite prin noțiuni din fizica clasică.

În ciuda diferențelor dintre problemele fizice, care au dat naștere teoriei relativității și, respectiv, teoriei cuantice, o comparație a aspectelor pur logice ale argumentărilor relativiste și ale celor complementare scoate însă în evidență analogii clare în ceea ce privește renunțarea la semnificația absolută a atributelor fizice obișnuite ale obiectelor. De asemenea, neluarea în considerare a constituției atomice a instrumentelor de măsură însăși în redarea experienței reale este la fel de caracteristică pentru aplicațiile relativității și teoriei cuantice. Valoarea redusă a cuantei de acțiune, în comparație cu acțiunile implicate în experiențele obișnuite, care includ aranjarea și manevrarea aparatelor fizice, este tot așa de esențială în fizica atomică ca și numărul enorm de atomi componenți ai lumii pentru teoria relativității generalizate. Această ultimă teorie, așa cum adesea s-a remarcat, cere ca dimensiunile aparatelor pentru măsurarea unghiurilor să poată fi făcute mici în comparație cu raza de curbură a spațiului.

La congresul de la Varșovia am discutat și utilizarea în teoria cuantică și în relativitate a unui simbolism care nu este reprezentabil direct:

„Chiar și formalismele, care în ambele teorii, în conformitate cu scopul lor, asigură un mijloc corespunzător pentru înțelegerea tuturor experiențelor imaginabile, prezintă analogii profunde. De fapt, simplitatea uimitoare a generalizării teoriilor fizicii clasice, care se obține prin folosirea geometriei multidimensionale și, respectiv, a algebrei necomutative, se bazează în ambele cazuri în esență prin introducerea simbolului convențional $\sqrt{-1}$. În adevăr, la o examinare mai atentă, caracterul tot atît de tipic în teoria relativității, cît este și în mecanica cuantică. În această privință este o problemă de pură tradiție că prima este considerată mai mult ca o completare a fizicii clasice. Ea constituie un prim pas fundamental în revizuirea profundă a concepțiilor noastre în ceea ce privește compararea observațiilor, revizuire pe care ne-a impus-o dezvoltarea modernă a fizicii.

Este desigur adevărat că în fizica atomică sîntem confruntaţi cu un număr de probleme fundamentale nerezolvate. Mă refer în special la relaţia intimă dintre unitatea elementară de sarcină electrică şi cuanta universală de acţiune ; însă aceste probleme nu sînt legate de aspectele epistemologice discutate aici, mai mult decît sînt corelate corectitudinea argumentării relativiste de soluţionarea problemelor cosmologice nerezolvate pînă acum. Atît în relativitate, cît şi în teoria cuantică avem de-a face cu aspecte noi ale analizei şi sintezei ştiinţifice. În această privinţă este interesant de notat că, chiar în marea epocă a filozofiei critice din secolul precedent, se vorbea numai de măsura în care ar putea fi formulate argumente apriorice în privinţa corectitudinii coordonatelor spaţio-temporale şi conexiunii cauzale a experienţei. Nu putea fi însă vorba de generalizările raţionale sau de limitările proprii din astfel de domenii de gîndire omenească.

Deşi în anii mai apropiaţi am avut cîteva ocazii de a mă întîlni cu Einstein, continuarea discuţiilor, de la care eu am primit întotdeauna impulsuri noi, nu a dus la o unitate de vederi în problemele epistemologice din fizica atomică. Părerile noastre opuse sînt poate consemnate mai clar într-un material recent din *Dialectica*[17], în care se face o discuţie generală a acestor probleme. Înţelegînd, totuşi, că multe piedici în înţelegerea reciprocă într-o problemă în care modul de abordare şi fondul pot să influenţeze atitudinea oricui, am întîmpinat cu bucurie această ocazie pentru o expunere mai pe larg a progresului prin care, după părerea mea, s-a depăşit o veritabilă criză în fizică. Lecţia pe care am primit-o în acea etapă s-ar părea că ne-a dus cu un pas decisiv înainte, în lupta neîncetată pentru armonie între conţinut şi formă. Ea ne-a arătat încă odată că nici un conţinut nu poate fi înţeles fără o schemă formală şi că orice formă, oricît de utilă s-a dovedit pînă acum, poate fi găsită prea îngustă pentru a cuprinde noi experienţe.

Cu siguranţă că, într-o situaţie de felul acesta, era foarte greu să ajungi la o înţelegere reciprocă nu numai între filozofi şi fizicieni, ci chiar între fizicienii diferitelor şcoli.

[17] N. Bohr, „Dialectica", 1, 312, 1948.

Dificultăţile îşi aveau nu rareori rădăcinile în preferinţe pentru folosirea unui anume limbaj, care sugera prin el însuşi linia diferită după care s-a făcut abordarea problemei. La Institutul din Copenhaga, în anii aceia veneau pentru discuţii un număr de tineri fizicieni din diferite ţări. În discuţii, atunci cînd ne găseam în încurcătură, pentru a ne odihni, întocmeam teorii glumeţe. Printre acestea figura vechea poveste a celor două tipuri de adevăr. De un tip aparţin afirmaţiile care sînt atît de simple şi clare încît aserţiunile opuse, în mod evident, nu pot fi apărate. Adevărurile de celălalt tip, aşa-numitele „adevăruri profunde", sînt constituite din afirmaţii, la care afirmaţiile contrare cuprind de asemenea adevăruri profunde. Progresul într-un domeniu nou se produce obişnuit trecînd prin etape în care haosul este înlocuit treptat prin ordine ; dar nu este mai puţin adevărat că în etapele intermediare, în care adevărurile profunde abundă, lucrul este realmente excitant şi ne stimulează imaginaţia pentru găsirea unui sprijin mai solid. În astfel de străduinţe pentru căutarea unui echilibru convenabil între seriozitate şi glumă, însăşi personalitatea lui Einstein a constituit un deosebit exemplu. Ea îmi apare de exemplu atunci cînd îmi exprim convingerea că printr-o cooperare fructuoasă, unică, a unei întregi generaţii de fizicieni ne apropiem de o etapă finală în care ordinea logică ne permite într-o mare măsură să eliminăm adevărurile profunde. Sper că afirmaţia va fi interpretată în sensul lui Einstein şi va servi în apărarea mea pentru unele afirmaţii din paginile precedente.

Discuţiile cu Einstein, care au format tema acestui articol s-au întins pe mai mulţi ani. Aceşti ani au fost martorii unui mare progres în domeniul fizicii atomice. Fie că întîlnirile noastre au fost în realitate lungi, fie că au fost scurte, ele mi-au lăsat în minte totdeauna o impresie profundă şi durabilă. De aceea, cînd am scris acest articol pot spune că am discutat tot timpul cu Einstein, chiar şi în cazul tratării unor subiecte aparent foarte îndepărtate de problemele speciale dezbătute în întîlnirile noastre. În ceea ce priveşte relatarea conversaţiilor, sînt desigur con-

ştient că mă bazez numai pe propria mea memorie şi este foarte posibil ca multe aspecte ale dezvoltării teoriei cuantice, la care Einstein a jucat un rol atît de însemnat, să-i fi apărut lui însuşi într-o altă lumină. Cred totuşi că am reuşit să transmit impresia reală asupra importanţei ce o are pentru mine posibilitatea de a beneficia de inspiraţia care rezultă pentru fiecare din contactul cu Einstein.

V

Unitatea cunoașterii

1954

Înainte de a încerca să răspundem la întrebarea dacă și în ce măsură putem vorbi despre unitatea cunoașterii, ar trebui să vedem ce înțeles are însuși cuvîntul cunoaștere. Nu este intenția mea să prezint un discurs academico-filozofic, pentru care nu aș avea pregătirea necesară. Fiecare om de știință se ciocnește însă mereu de problema descrierii obiective a experienței, prin aceasta înțelegînd exprimarea fără ambiguități. Instrumentul nostru de bază este desigur limbajul obișnuit, care servește necesităților vieții de toate zilele și relațiilor sociale. Nu ne vom ocupa aici de originea limbajului, însă ne vor interesa posibilitățile lui pentru comunicările științifice și în special problema menținerii obiectivității în descrierea experienței, atunci cînd experiența iese din domeniul evenimentelor vieții cotidiene.

Punctul cel mai important de înțeles este că orice cunoaștere se prezintă într-un sistem de noțiuni adaptat pentru a ține seamă de experiențe anterioare și că orice asemenea sistem se poate dovedi prea strîmt pentru a putea cuprinde o experiență nouă. Cercetarea științifică în multe domenii ale cunoașterii cere din cînd în cînd abandonarea sau modificarea punctelor de vedere care mai înainte fuseseră considerate indispensabile în explicările logice deoarece se dovediseră foarte rodnice și aparent cu posibilități de aplicare nelimitate. Deși astfel de dezvoltări au fost scoase la iveală din studiul diferitelor specialități, din ele se pot totuși trage învățăminte generale asupra importanței problemei unității cunoașterii. Într-adevăr, lărgirea sistemului de noțiuni nu a condus numai la restabilirea ordinii

în ramurile respective ale cunoașterii, ci a dezvăluit de asemenea, în analiza și sinteza experienței, analogii între domenii de cunoaștere aparent deosebite, sugerînd posibilitatea unei descrieri obiective mai cuprinzătoare.

Prin sistem de noțiuni înțelegem pur și simplu grupul de noțiuni care permite reprezentarea logică și fără echivoc a relațiilor dintre faptele experimentale. Posibilitatea unei descrieri mai cuprinzătoare apare și în dezvoltarea istorică a logicii formale, în care dispar granițele riguroase dintre aceasta și studiile de semantică și chiar de sintaxă filologică. Matematica a jucat un rol special, contribuind în mod hotărîtor la dezvoltarea gîndirii logice și oferind totodată, prin abstracțiile ei bine definite, un neprețuit ajutor în exprimarea armonioasă a relațiilor funcționale. Totuși în discuția noastră nu vom considera matematica pură ca o ramură separată a cunoașterii, ci mai degrabă ca un rafinament al limbajului general, pe care îl înzestrează cu instrumente potrivite pentru a reprezenta relațiile pentru care expresiile verbale obișnuite sînt imprecise și greoaie. În legătură cu aceasta, poate fi subliniat faptul că numai prin evitarea referirii la un subiect concret (cum se face în vorbirea de toate zilele), utilizarea simbolurilor matematice asigură neechivocul definițiilor cerute de o descriere obiectivă.

Dezvoltarea așa-numitelor științe exacte, caracterizate prin stabilirea relațiilor numerice dintre rezultatele măsurătorilor, a fost mult împinsă înainte cu ajutorul metodelor matematicii abstracte născute dintr-o continuă generalizare a construcțiilor logice. Această situație este ilustrată în mod special în fizică, care la început era înțeleasă ca o cunoaștere a naturii din care noi înșine facem parte, însă care treptat a ajuns să studieze legile elementare care guvernează proprietățile materiei lipsite de viață. Necesitatea de a fi mereu preocupați de problema descrierii obiective a influențat puternic atitudinea școlilor filozofice în decursul timpului. În zilele noastre exploatarea unor noi domenii experimentale a relevat posibilități nebănuite de aplicare a unora dintre cele mai elementare noțiuni ale noastre și astfel ne-a dat o lecție epistemologică cu implicații în probleme mult mai largi decît în domeniul fizicii. De aceea

poate ar fi convenabil să începem discuţia cu o scurtă trecere în revistă a acestei dezvoltări.

Am merge poate prea departe dacă am aminti în detaliu cum, prin eliminarea ideilor de cosmologie mitologică şi a argumentelor referitoare la scopul propriilor noastre acţiuni, a fost construită o schemă a mecanicii, pe baza lucrării de pionierat ale lui Galilei, schemă adusă apoi la desăvîrşire prin remarcabilele lucrări ale lui Newton. Înainte de toate, principiile mecanice ale lui Newton îşi propun să clarifice problema cauzei şi efectului. Cu alte cuvinte, plecînd de la o anumită stare a sistemului fizic, definită la un anumit moment prin anumite cantităţi măsurabile, să se poată prezice starea respectivului sistem la orice alt moment următor. Ştim cu toţii cum o descriere deterministă sau cauzală de acest fel, conduce la o concepţie mecanicistă asupra naturii ; un astfel de mod de a descrie fenomenele ajunge să constituie modul ideal de explicare ştiinţifică în orice domeniu al cunoaşterii indiferent de calea pe care a fost obţinută cunoaşterea respectivă. În legătură cu aceasta este foarte important faptul că studiul unui domeniu larg de experienţe fizice a condus la necesitatea unei analize mai atente a problemei observării.

În limitele foarte largi ale domeniului ei de aplicare, mecanica clasică oferă o descriere obiectivă, în sensul că se bazează pe un mod bine definit de a folosi imaginile şi ideile referitoare la evenimentele vieţii cotidiene. Idealizările folosite de mecanica lui Newton, oricît de raţionale ar părea ele, ies de fapt cu mult din cadrul experienţelor pentru care sînt convenabile noţiunile noastre elementare. Astfel, o utilizare adecvată a noţiunilor de spaţiu absolut şi timp absolut este strîns legată de propagarea instantanee a luminii, care ne permite să localizăm corpurile în jurul nostru independent de viteza lor şi să aranjăm evenimentele în timp într-o succesiune unică. Totuşi, încercarea de a da o descriere logică şi consistentă fenomenelor electromagnetice şi optice a arătat că observatorii care se deplasează cu viteze mari unii faţă de alţii, stabilesc coordonate

diferite pentru același eveniment. Acești observatori vor observa nu numai poziții și forme diferite pentru corpurile solide, dar evenimente care au loc în diferite puncte ale spațiului și care apar simultane pentru unul dintre ei, vor fi considerate de către un altul ca având loc la momente diferite.

Studiul acesta al influenței punctului de vedere al observatorului asupra descrierii fenomenelor fizice nu numai că nu a încurcat și complicat observațiile, dar s-a dovedit un ghid prețios în enunțarea legilor generale ale fizicii, comun tuturor observatorilor. Menținînd ideea determinismului, însă bazînd-o exclusiv pe dependența dintre măsurători fără echivoc, care în cele din urmă se referă la coincidența dintre evenimente, Einstein a reușit să recunoască și să generalizeze întregul edificiu al fizicii clasice, conferind imaginii noastre despre lume o unitate care a depășit toate așteptările. În teoria relativității generalizate descrierea se bazează pe metrica unui spațiu-timp cuadridimensional curbat, descriere care ține seama în mod automat de efectele gravitaționale. Un rol aparte îl joacă viteza semnalelor luminoase care reprezintă limita superioară pentru orice mărime compatibilă cu noțiunea fizică de viteză. Introducerea unor astfel de abstracții matematice nu prea familiare, însă bine definite, elimină orice ambiguitate și, mai mult, constituie o instructivă ilustrare a faptului că o lărgire a sistemului de noțiuni oferă mijloacele pentru eliminarea elementelor subiective și ajută la dezvoltarea descrierii obiective.

Noi și neașteptate aspecte ale problemei observării au fost scoase la iveală de cercetările structurii atomice a materiei. După cum se știe, ideea divizibilității limitate a substanței, introdusă pentru explicarea persistenței proprietăților ei caracteristice în ciuda varietății fenomenelor naturale, a apărut încă din antichitate. Totuși, aproape pînă în zilele noastre astfel de idei erau considerate ipotetice, în sensul că ele păreau imposibile de confirmat direct prin observații. Lucrul acesta s-ar datora faptului că organele noastre de simț, ca și instrumentele de care ne folosim, ar fi prea grosolane, ele însele fiind constituite dintr-un număr foarte mare de atomi. Totuși, datorită progresului deosebit realizat în chimie și fizică în secolul trecut, ideile

atomismului s-au dovedit foarte fructuoase. În particular, aplicarea directă a mecanicii clasice la interacțiunile atomilor și moleculelor în timpul mișcării lor neîntrerupte a condus la o înțelegere generală a principiilor termodinamicii.

În secolul nostru, studiul noilor proprietăți descoperite ale materiei, de tipul radioactivității naturale, a confirmat în mod convingător bazele teoriei atomice. În particular, datorită dezvoltării sistemelor de amplificare, a devenit posibil să se studieze fenomene esențial dependente de atomi izolați și chiar să se obțină o cunoaștere extensivă a structurii sistemelor atomice. Primul pas a fost recunoașterea faptului că electronul este unul din constituienții tuturor substanțelor. Un alt pas important în înțelegerea structurii atomului a fost făcut prin descoperirea de către Rutherford a nucleului atomic. Nucleul, deși are un volum extrem de mic, totuși conține practic toată masa atomului. Invarianța proprietăților elementelor în procese fizice și chimice obișnuite se explică direct prin aceea că deși în astfel de procese electronii de legătură sînt puternic influențați, totuși nucleul rămîne neschimbat.

Rutherford a fost acela care a deschis un nou domeniu de cercetare al atomului prin demonstrarea transmutabilității atomilor sub acțiunea unor forțe foarte puternice. Acest nou domeniu constituie cu adevărat alchimia modernă și, după cum se știe, el a condus la posibilitatea eliberării unei imense cantități de energie acumulată în nucleele atomice.

Deși multe din proprietățile fundamentale ale materiei au fost explicate pe baza unei imagini simple a atomului, totuși încă de la început era evident că ideile mecanicii clasice și ale electromagnetismului nu erau suficiente pentru explicarea stabilității structurii atomice. Această stabilitate se manifestă prin anumite proprietăți specifice ale elementelor. Cheia pentru lămurirea acestei probleme a dat-o descoperirea cuantei universale de acțiune de către Planck încă în primul an al secolului nostru, descoperire la care a ajuns printr-o analiză profundă a legilor radiației termice. Descoperirea lui Planck a dezvăluit o comportare a proceselor atomice complet diferită de concepțiile mecaniciste asupra naturii. A devenit clar că teoriile

fizicii clasice sînt idealizări valabile numai la descrierea acelor fenomene pentru care toate mărimile, a căror dimensiune este acțiunea, să fie suficient de mari pentru a se putea neglija existența cuantelor. Această condiție este pe deplin îndeplinită la fenomenele care au loc la scara obișnuită. La scară atomică întîlnim însă fenomene și legi de un tip cu totul nou, care încalcă în mod evident descrierea deterministă.

O generalizare rațională a fizicii clasice, care să țină seama de existența cuantelor și în care să se păstreze totuși interpretarea univocă a datelor experimentale privind masa și sarcina electrică a electronului și nucleului este o problemă foarte dificilă. A trebuit să se concentreze eforturile unei întregi generații de fizicieni teoreticieni pentru ca, treptat, să se ajungă la o descriere consistentă și, în limite foarte largi, destul de completă a fenomenelor atomice. Această descriere folosește un formalism matematic în care în locul variabilelor din teoriile fizicii clasice, au fost introduse simboluri care conțin constanta lui Planck și care sînt supuse unor reguli de înmulțire necomutativă. Datorită caracterului propriu acestor abstracții matematice, formalismul nu permite nici un fel de interpretare intuitivă (cu care sîntem noi obișnuiți), însă tinde să stabilească relații între observațiile obținute în anumite condiții bine definite. Relațiile acestea au în mod inerent un caracter statistic, datorită faptului că într-un dispozitiv experimental pot avea loc diferite procese cuantice individuale.

Cu ajutorul formalismului mecanicii cuantice s-a putut sistematiza și explica un material imens de date privind proprietățile fizice și chimice ale materiei. Mai mult decît atît, prin adaptarea formalismului la cerințele teoriei relativității, a fost posibil să se ordoneze în limite destul de largi datele noi care s-au acumulat și se acumulează foarte rapid în domeniul particulelor elementare și al nucleului atomic. În ciuda uimitoarei posibilități de a explica anumite fenomene, mecanica cuantică a dat naștere la anumite îndoieli în mintea multor fizicieni și filozofi, prin îndepărtarea ei radicală de explicațiile fizice obișnuite și în special prin renunțarea la însăși ideea de determinism. Se ridică întrebarea dacă nu cumva era vorba doar de un expedient folosit temporar, sau fizicienii se aflau în fața

unei noi metode de a descrie în mod obiectiv realitatea, adică dacă se făcuse în adevăr un mare şi irevocabil pas înainte. Clarificarea acestei probleme cerea într-adevăr o revizuire radicală a bazei pe care se sprijinea descrierea şi înţelegerea experienţei fizice.

În legătură cu aceasta, trebuie să recunoaştem înainte de toate că şi în cazul în care fenomenele ies din limitele aplicabilităţii teoriilor fizicii clasice, toate caracteristicile instalaţiilor experimentale, ca şi descrierea rezultatelor observaţiilor, trebuie să se facă într-o formă simplă, într-un limbaj obişnuit, sprijinit pe o terminologie tehnică de specialitate. Aceasta este o cerinţă logică şi clară, deoarece însuşi cuvîntul „experiment" se referă la acele situaţii în care noi putem comunica altora ceea ce am făcut şi ce am aflat. Totuşi, diferenţa esenţială dintre fizica clasică şi cea cuantică constă în aceea că, pentru prima, interacţiunea dintre obiect şi aparatul de măsură poate fi neglijată sau compensată într-un fel, în timp ce pentru fizica cuantică această interacţiune face parte integrală din fenomenul studiat. Integritatea esenţială a fenomenului cuantic îşi găseşte o expresie logică în faptul că orice încercare bine definită de a diviza fenomenul cere o modificare a instalaţiei experimentale incompatibilă cu apariţia fenomenului însuşi.

În particular, este imposibilă realizarea unui control al interacţiunii dintre obiectele atomice şi instrument, control absolut necesar pentru definirea condiţiilor experimentale. Acest lucru face ca să nu fie posibilă simultan, localizarea în spaţiul-timp şi aplicarea legilor de conservare ale dinamicii pe care se bazează descrierea deterministă din fizica clasică. Orice utilizare univocă a noţiunilor de spaţiu şi timp presupune o anumită instalaţie experimentală în care are loc un transfer de impuls şi energie, necontrolabil în principiu, în raport cu o scală fixă şi cu ceasuri sincronizate aşa cum se cere pentru definirea sistemului de referinţă. Invers, descrierea fenomenelor care sînt caracterizate prin legile conservării energiei şi impulsului implică în principiu renunţarea la o localizare exactă în spaţiu şi timp. Aceste fapte îşi găsesc o exprimare cantitativă în relaţiile de incertitudine ale lui Heisenberg. Acestea exprimă posibilitatea reciprocă de a alege variabilele cinematice

sau cele dinamice pentru definirea stării unui sistem fizic. În concordanță cu caracterul formalismului mecanicii cuantice, astfel de relații nu pot fi interpretate ca atribute ale obiectelor, așa cum ar fi în fizica clasică. Aici avem de-a face cu condiții care se exclud reciproc, pe de o parte utilizarea univocă a noțiunilor de spațiu și timp și pe de alta, legile de conservare ale dinamicii.

În legătură cu aceasta, se vorbește uneori de faptul că „observațiile produc o perturbare a fenomenului" sau că „prin măsurători se creează atribute fizice obiectelor atomice". Astfel de fraze pot să conducă la confuzii, deoarece cuvinte ca „fenomen" și „observație", ca și „atribute" și „măsurători", sînt utilizate aici într-un sens deosebit, incompatibil cu limbajul obișnuit și cu definițiile lor curente. Pe linia unei descrieri obiective este desigur mai potrivit să se folosească cuvîntul „fenomen" numai dacă este vorba de observații obținute în condiții determinate, a căror descriere include considerarea întregului aranjament experimental. Într-o astfel de terminologie, problema observării în fizica cuantică este eliberată de orice complicații. În plus, terminologia astfel introdusă ne amintește că fiecare fenomen atomic este *închis,* în sensul că observarea sa se bazează pe înregistrări obținute cu ajutorul unui șir de aparate de amplificare cu o funcționare ireversibilă, cum ar fi, de exemplu, imaginea pe o placă fotografică, provocată de pătrunderea electronilor în emulsie. În legătură cu aceasta este important să se înțeleagă că formalismul mecanicii cuantice se poate aplica numai la astfel de fenomene închise. El apare deci ca o generalizare rațională a fizicii clasice, în care fiecare etapă din desfășurarea evenimentului este descrisă cu ajutorul unor cantități măsurabile.

Libertatea de a experimenta din fizica clasică există desigur și în fizica cuantică, unde îi corespunde de fapt posibilitatea de a alege aranjamentul experimental care se potrivește cu structura matematică a formalismului mecanicii cuantice. Faptul că, în general, unul și același aranjament experimental poate da rezultate diferite este uneori plastic exprimat ca fiind „alegerea făcută de natură" între aceste posibilități. Nu este nevoie să mai spunem că o astfel de frază nu face nici o aluzie la o personificare a naturii, ea

exprimă pur şi simplu imposibilitatea de a putea spune cu certitudine, aşa cum eram obişnuiţi, modul în care va evolua un anumit fenomen indivizibil şi închis. Aici deducţiile logice nu permit mai mult decît obţinerea probabilităţilor relative de apariţie a fenomenelor individuale în anumite condiţii experimentale date. Mecanica cuantică apare astfel ca o generalizare consistentă a modului de descriere mecanic-determinist, pe care îl conţine ca o limită asimptotică în cazul fenomenelor fizice care au loc la o scară destul de mare pentru a putea neglija cuanta de acţiune.

Cea mai deosebită trăsătură a fizicii atomice este dată de noua corelaţie dintre fenomenele observate în diferite condiţii experimentale pentru descrierea cărora ar fi necesar să se introducă noţiuni elementare noi. Desigur aceste experienţe ar părea contradictorii dacă am încerca să ne imaginăm evoluţia proceselor atomice pe cale clasică. Ele ar trebui să fie considerate complementare, în sensul că reprezintă cunoştinţe la fel de importante despre sistemele atomice şi că, împreună, rezultatele care le conţin epuizează aceste cunoştinţe. Noţiunea de complementaritate nu conţine nici o îndepărtare de la poziţia noastră de observatori obiectivi ai naturii, ci trebuie privită ca o expresie logică a situaţiei noastre referitoare la descrierea obiectivă în acest domeniu de experienţă. Recunoaşterea că interacţiunea dintre instrumentele de măsură şi sistemul fizic care trebuie cercetat constituie o parte integrantă a fenomenelor cuantice a dezvăluit o neaşteptată limitare a concepţiilor mecaniciste despre natură, caracterizate prin atribuirea unor proprietăţi separate sistemului fizic dat. Ea ne-a forţat ca în organizarea experienţei să fim deosebit de atenţi la condiţiile de observare.

Să ne reîntoarcem la mult dezbătuta problemă a cerinţelor legate de explicarea fizică a fenomenelor. Să ne amintim că mecanica clasică implica renunţarea la o cauză pentru mişcarea uniformă. În afară de aceasta, teoria relativităţii ne arată că argumentele de invarianţă şi echivalenţă trebuie să fie considerate drept categorii pentru o explicare raţională. În mod similar în descrierea complementară a fizicii cuantice avem de-a face cu o generalizare consistentă (şi aici autorul foloseşte, *selfconsistent. — N.T.).* Aceasta permite includerea unor regularităţi decisive pentru

a putea considera proprietăţile fundamentale ale materiei, regularităţi care însă depăşesc limitele unei descrieri strict deterministe. Istoria fizicii a demonstrat că explorarea unor domenii experimentale mai largi a dezvăluit existenţa unor nebănuite limitări conţinute de ideile obişnuite şi a indicat căile noi de urmat pentru restaurarea ordinei logice.

După cum am arătat, lecţia epistemologică pe care ne-o oferă dezvoltarea fizicii atomice, ne aminteşte şi de alte situaţii similare, referitoare la descrierea şi înţelegerea experienţei în alte domenii decît cel al fizicii. Aceasta ne permite să scoatem în evidenţă trăsăturile lor comune şi astfel să ajungem la unitatea cunoaşterii.

Prima problemă cu care ne întîlnim de îndată ce părăsim domeniul fizicii este problema locului organismelor vii, în descrierea generală a fenomenelor naturale. La început nu se făcea o netă distincţie între materia însufleţită şi cea neînsufleţită. Se ştie că Aristotel, subliniind integritatea şi unitatea organismelor vii, îşi expunea un punct al său de vedere contrar celui al atomiştilor. Caracteristicile la care se referă Aristotel erau finalitatea şi potenţa. El se folosea de aceste noţiuni chiar şi la discuţia bazelor mecanicii. Totuşi, ca urmare a importantelor descoperiri în anatomie şi fiziologie din timpul Renaşterii şi, în special, a apariţiei mecanicii clasice, care folosea o descriere strict deterministă şi de unde lipsea cu desăvîrşire orice referire la un scop, s-a născut concepţia mecanicistă asupra naturii. Un mare număr de funcţii organice puteau fi explicate pe baza acelor proprietăţi fizico-chimice ale materiei, care pot fi lămurite şi cu ajutorul ideilor atomice simple. Este adevărat că structura şi funcţionarea organismelor implică o ordonare a proceselor atomice, care uneori pare a fi greu de pus în acord cu legile termodinamicii care cer ca atomii să constituie un sistem izolat în care se tinde lent către dezordine. Dacă, totuşi, se ţine seama că energia liberă necesară menţinerii şi dezvoltării sistemelor organice este extrasă în mod continuu din mediul înconjurător prin hrană şi respiraţie de-

vine clar că nu apare aici nici un fel de violare a legilor generale ale fizicii.

În ultimele decade s-au făcut importante progrese în ceea ce privește cunoașterea structurii și funcționării organismelor ; a devenit clar că legile fizicii cuantice joacă și aici un rol important. Astfel de legi guvernează de exemplu stabilitatea deosebită a structurilor moleculare complexe, care formează principalii constituienți ai celulei, direcți legați de proprietățile ereditare ale speciei. Cercetările asupra mutațiilor produse prin expunerea organismelor la acțiunea radiațiilor penetrante oferă alte exemple de aplicare a legilor statistice ale mecanicii cuantice. De asemenea, s-a găsit că sensibilitatea organelor de simț, atît de importantă pentru păstrarea integrității organismului, se apropie de nivelul proceselor cuantice individuale, iar mecanismul procesului de amplificare joacă un rol important în special la transmiterea mesajelor nervoase. Ca rezultat al acestor descoperiri, sîntem din nou conduși către o înțelegere mecanicistă a fenomenelor biologice, dar într-un sens cu totul nou. În același timp a devenit importantă problema dacă o comparație între organismele vii și sistemele complexe de tipul agregatelor industriale moderne sau calculatoarele electronice oferă o bază pentru descrierea proceselor autoreglabile pe care le prezintă organismele vii.

Întorcîndu-ne la lecția epistemologică generală pe care ne-a oferit-o fizica atomică, trebuie să înțelegem, în primul rînd, că procesele închise studiate în fizica cuantică nu prezintă nici o analogie directă cu funcțiile biologice, pentru întreținerea cărora se cere un schimb continuu de materie și energie între organism și mediul înconjurător. În afară de aceasta, orice aparatură experimentală care ar permite controlul unor astfel de funcțiuni, la gradul de precizie cerut de descrierea lui în limbajul fizicii, ar împiedica desfășurarea normală a vieții. Însuși acest lucru ne poate sugera de ce în general explicațiile date în problema vieții organice, oscilează între concepțiile mecaniciste și cele finaliste. De fapt, așa după cum în descrierea fenomenelor atomice elementul primar, care nu poate și nu trebuie explicat, este cuanta de acțiune, la fel și în biologie, unde avem de-a face cu existența și evoluția organismelor,

elementul de bază este noțiunea de viață. În ceea ce privește organismele vii, noi putem să ne dăm mai bine seama de acest lucru, deoarece noi înșine aparținem aceleiași naturi și cunoștințele le obținem pe o cale mai directă. Trebuie să recunoaștem că cerințele unei descrieri obiective se realizează pe o cale complementară caracteristică, în care anumite noțiuni provin din domeniul fizicii și chimiei ; însă noțiunile care se referă direct la integritatea organismului, deși ies din cadrul acestor științe, se folosesc adesea în cercetările de biologie. Lucrul cel mai important este faptul că numai renunțînd la o definiție a vieții, în sensul obișnuit al cuvîntului, vom putea ține seama de caracteristicile ei.

Desigur, în biologie, ca și în fizică, noi ne păstrăm poziția noastră de observatori independenți și problema care rămîne este numai aceea a diferitelor condiții necesare înțelegerii logice a experienței. Aceasta se aplică atît comportărilor înnăscute, cît și celor condiționate, la animale și oameni, și sîntem astfel în mod natural conduși către noțiunile psihologice. Folosirea acestor noțiuni este greu de evitat chiar și atunci cînd e vorba de o abordare pretins comportamentistă a obiectului viu. Mai mult, însăși noțiunea de conștiință trebuie introdusă atunci cînd avem de-a face cu o comportare de un grad atît de înalt de complexitate a organismului individual, încît pentru descrierea ei este necesară introspecția. Avem de-a face aici cu folosirea reciproc-exclusivă a cuvintelor instinct și rațiune, ilustrată de gradul în care comportarea instinctivă este oprimată în societatea umană. Chiar în psihologie, atunci cînd încercăm să descriem propriile noastre stări sufletești, rămîne încă posibil să îndeplinim în mare măsură cerințele unei observări obiective, deși întîmpinăm mari dificultăți legate de autoobservație. În legătură cu aceasta, ar fi interesant de amintit că în fizică, chiar de la primele ei începuturi, era posibil să facem apel la fenomenele vieții de toate zilele, care permiteau o descriere cauzală simplă, în timp ce pentru descrierea stărilor noastre sufletești, s-a folosit, încă de la formarea limbajului, o descriere complementară. De fapt, bogata terminologie adoptată pentru astfel de descrieri nu este folosită spre a urmări desfășurarea la nesfîrșit a evenimentelor, ci mai degrabă pentru

a indica experienţe sau stări care se exclud reciproc. Aceste experienţe sînt caracterizate prin diferitele moduri în care se poate separa conţinutul asupra căruia ne concentrăm atenţia şi fondul, care este desemnat de cuvintele „noi înşine".

Un exemplu foarte potrivit îl constituie relaţia dintre situaţiile în care noi chibzuim asupra motivelor acţiunilor noastre şi cele în care este vorba de voinţă. În viaţa de toate zilele o astfel de separare se realizează mai mult sau mai puţin în mod intuitiv. Însă în psihiatrie sînt bine cunoscute simptome de tipul „confuziei eurilor", care pot conduce la dezintegrarea personalităţii. Utilizarea unor caracteristici aparent contradictorii, referitoare la diferite aspecte la fel de importante ale sufletului omenesc, prezintă, desigur, o remarcabilă analogie cu situaţia din fizica atomică, unde fenomenele complementare cer pentru a fi definite referirea la diferite noţiuni elementare. Mai înainte de toate, însuşi cuvîntul „conştient", care se referă la experienţe capabile să fie păstrate în memorie, sugerează o comparaţie între experienţe conştiente şi observaţii fizice. Într-o astfel de analogie imposibilitatea de a da un conţinut neechivoc ideii de subconştient corespunde imposibilităţii de a da o interpretare intuitivă formalismului mecanicii cuantice. Se poate spune că tratamentul psihoanalitic al nevrozelor restaurează un echilibru în conţinutul memoriei pacientului nu atît prin faptul că îl ajută să-şi sondeze subconştientul, ci mai curînd deoarece îi furnizează noi experienţe conştiente.

Din punct de vedere biologic noi putem interpreta caracteristicile fenomenelor psihice numai considerînd că fiecare experienţă conştientă corespunde unei impresii reziduale din organism. Aceasta ar corespunde unei înregistrări, ireversibile în sistemul nervos, a rezultatului proceselor care nu sînt deschise introspecţiei şi care ar fi greu de adoptat la o definire exhaustivă, într-o descriere mecanicistă. Desigur astfel de înregistrări în care interacţionează numeroase celule nervoase, sînt esenţial diferite de structura constantă a celulelor izolate ale organismului care sînt legate de reproducerea genetică. Din punct de vedere finalist, am putea sublinia nu numai utilitatea înregistrărilor permanente care se manifestă prin influenţa asupra

reacțiilor noastre provocate de stimuli, ci și importanța faptului că generațiile următoare nu sînt împovărate de experiențele anterioare asupra individului. Pentru această generație este esențială reproducerea acelor proprietăți ale organismului care s-au dovedit utile pentru acumularea și utilizarea cunoștințelor. În orice încercare de a duce mai departe cercetarea trebuie, desigur, să fim pregătiți a întîmpina dificultăți din ce în ce mai mari. E destul de sugestiv faptul că noțiunile simple de fizică își pierd cu atît mai mult aplicabilitatea cu cît ne apropiem mai mult de acele trăsături ale organismelor vii care sînt legate de caracteristicile lumii noastre sufletești.

Pentru a ilustra acest raționament am putea să ne referim pe scurt la vechea problemă a libertății voinței. Așa după cum s-a mai spus, este evident faptul că însuși cuvîntul voință este indispensabil pentru o descriere completă a fenomenelor psihice. Problema este dacă putem vorbi despre libertatea de a acționa în acord cu posibilitățile noastre. Cîtă vreme n-am adoptat fără restricții un punct de vedere determinist, ideea unei astfel de libertăți este desigur exclusă. Totuși, lecția generală pe care ne-a dat-o fizica atomică, în particular despre posibilitățile limitate ale descrierii mecaniciste a fenomenelor biologice, ne sugerează ideea că abilitatea organismelor de a se adapta la mediul înconjurător include capacitatea de a alege cea mai potrivită cale pentru realizarea acestui scop. Deoarece o astfel de problemă nu poate fi judecată numai pe o bază pur fizică, trebuie să recunoaștem că experiența psihologică ne-ar putea oferi informații mai potrivite. Lucrul cel mai important este că, dacă încercăm să prezicem ce va decide o altă persoană să facă într-o situație anumită, trebuie să căutăm să cunoaștem nu numai fondul său interior (care ar cuprinde întreaga istorie a vieții lui în toate amănuntele care au contribuit la formarea caracterului lui), ci, în ultimă instanță, ar însemna că tindem să ne punem noi înșine în locul lui. Desigur, este imposibil să se spună dacă o persoană dorește să facă un anumit lucru pentru că poate, sau poate să-l facă pentru că vrea, însă ar fi greu de contrazis faptul că noi avem sentimentul că sîntem capabili, ca să spunem așa, să facem lucrul cel mai potrivit într-o anumită situație dată. Din punctul de ve-

dere al unei descrieri obiective, nimic nu mai poate fi adăugat sau scos. În acest sens putem vorbi în mod practic și logic despre libertatea voinței, avînd în vedere că ne rămîne deschisă posibilitatea utilizării unor cuvinte ca responsabilitate și speranță, greu de definit separat, ca și multe alte cuvinte necesare comunicării dintre oameni.

Astfel de considerații lărgesc și adîncesc implicațiile lecției epistemologice pe care în situația noastră de observatori am primit-o de la dezvoltarea fizicii. Renunțînd la cererile obișnuite de explicații, ea ne oferă mijloacele logice cu care putem cuprinde și înțelege un mai mare domeniu al experienței, necesitînd o atenție deosebită separarea subiect-obiect. Deoarece în literatura filozofică referirile se fac uneori la diferite nivele de obiectivitate sau subiectivitate sau chiar de realitate, trebuie notat că noțiuni ca subiect fundamental, sau concepții ca realism și idealism nu-și găsesc locul într-o descriere obiectivă, așa cum a fost definită ea mai sus ; acest lucru nu duce, desigur la nici o limitare a cercetării sau a domeniului de cercetare la care ne-am referit.

După ce am atins acele probleme ale științei legate de unitatea cunoașterii, aș vrea să revin le chestiunile care urmează să fie analizate mai departe în programul propus, și anume dacă există un adevăr poetic sau spiritual sau cultural deosebit de adevărul științific.

Cu toată reținerea unui om de știință de a intra în astfel de domenii mă voi aventura totuși, adoptînd o atitudine similară celei de pînă acum, pentru a discuta această problemă. Întorcîndu-ne la ideea dependenței dintre mijloacele noastre de expresie și domeniul de experiență cu care avem de a face, vom fi puși desigur în fața corelației dintre știință și artă. Îmbogățirea mijloacelor, pe care arta ne-ar putea-o aduce, ar proveni din puterea ei de a ne aminti armoniile care scapă unei analize sistematice. Se poate spune că literatura, pictura și muzica formează moduri de exprimare în care, cu cît e mai largă renunțarea la definiții precise, caracteristice pentru exprimarea științifică, cu atît fantezia este mai liberă să se desfășoare. În

particular, în poezie acest scop este atins prin suprapunerea cuvintelor referitoare la situații ale observatorului, care se modifică, unind astfel emoțional multiplele aspecte ale cunoașterii umane.

Orice realizare artistică cere inspirație, cu toate că munca oricărui artist, chiar și atunci cînd atinge culmile cele mai înalte, se bazează pe un fundament uman comun pe care noi înșine ne aflăm. În particular, trebuie să înțelegem că un cuvînt ca „improvizație", care apare adesea cînd vorbim de realizările artistice, ne indică o trăsătură esențială oricărei comunicări. Nu numai în conversațiile obișnuite ne dăm seama mai mult sau mai puțin despre expresiile verbale pe care le-am ales pentru a comunica ceea ce ne-a trecut prin minte, dar chiar în lucrările scrise, unde avem posibilitatea să refacem fiecare cuvînt, problema dacă acel cuvînt îl păstrăm sau nu, cere pentru răspuns o decizie echivalentă cu o improvizație. De altfel, echilibrul dintre seriozitate și glumă, caracteristic pentru orice realizare artistică remarcabilă, ne reamintește de aspectele complementare din jocurile copiilor, uneori apreciate și de oamenii mari. De fapt, dacă ne străduim să vorbim întotdeauna foarte serios, riscăm să părem foarte repede ridiculi de plictisitori celor ce ne ascultă. Dacă încercăm însă să glumim tot timpul, ne vom da seama repede că atît noi cît și ascultătorii noștri ne aflăm în starea sufletească disperată a nebunilor din dramele lui Shakespeare.

La o comparație între știință și artă trebuie să avem mereu în minte că în știință avem de-a face cu o sistematică coordonare a eforturilor pentru a mări experiența și a dezvolta noțiuni potrivite pentru înțelegerea ei, cu totul asemănătoare transportului și fasonării pietrelor dintr-o construcție. În artă avem de-a face cu o tendință individuală mai intuitivă, ce încearcă să evoce sentimente care să amintească situația noastră în totalitatea ei. Ne aflăm aici la un punct unde problema unității cunoașterii evident conține ambiguități, ca și cuvîntul „adevăr" însuși. De fapt, în ceea ce privește valorile spirituale și culturale, nu trebuie să uităm problemele teoriei cunoașterii legate de echilibrul just dintre dorința noastră de a cuprinde tot ce este legat de viață, de multiplele ei aspecte, și posibili-

tăţile noastre de a ne exprima într-o formă logic consistentă.

Ştiinţa şi religia prezintă în această privinţă diferite puncte de plecare. Ştiinţa tinde să dezvolte metodele generale de ordonare a experienţei generale umane, pe cînd religia are la bază tendinţa către o armonie viitoare în modul de a vedea lucrurile şi în comportarea din interiorul comunităţii. Desigur, în orice religie toate cunoştinţele dobîndite de membrii societăţii sînt incluse într-o schemă generală, al cărei prim conţinut îl constituie valorile şi idealurile cuprinse în cult şi credinţă. De aceea, relaţia inerentă dintre formă şi conţinut nu prea atrage atenţia, pînă cînd o ulterioară dezvoltare a ştiinţei nu aduce concluzii noi cu caracter cosmologic şi epistemologic. Desfăşurarea istoriei prezintă astfel de situaţii. Am putea, de exemplu, să ne referim la adevărata schismă dintre ştiinţă şi religie, apărută o dată cu dezvoltarea concepţiei mecaniciste asupra naturii din timpul Renaşterii în Europa. Pe de o parte, multe fenomene care altădată erau privite ca manifestare a providenţei divine apar azi drept consecinţe ale legilor generale şi imuabile ale naturii. Pe de altă parte, punctele de vedere şi metodele fizicii sînt foarte departe de a da un sprijin punerii în evidenţă de valori umane şi idealuri fundamentale pentru religie. Aşanumitele şcoli de filozofie critică şi empirică au în comun o atitudine de distincţie mai mult sau mai puţin vagă între cunoaşterea obiectivă şi credinţa subiectivă.

Pentru a scoate în relief necesitatea acordării unei deosebite atenţii locului unde se face separarea obiect-subiect într-o comunicare neechivocă, dezvoltarea modernă a ştiinţei a creat o nouă bază pentru utilizarea unor cuvinte cum ar fi „cunoaştere" şi „credinţă". Mai mult decît atît, recunoaşterea existenţei unei limitări inerente a noţiunii de cauzalitate a oferit cadrul în care ideea de predestinare universală este înlocuită prin ideea de evoluţie naturală. În ceea ce priveşte organizarea societăţilor omeneşti, putem sublinia în mod deosebit faptul că descrierea poziţiei individului în comunitate prezintă aspecte tipic complementare, legate de variaţia limitelor dintre aprecierea valorilor umane şi baza pe care se face această apreciere. Desigur orice societate umană stabilă cere un joc cinstit cu

reguli judicioase. Însă, în același timp, viața fără atașamentul față de familie și de prieteni ar fi evident deposedată de unele dintre cele mai prețioase valori de care dispune.

Unul din scopurile generale tuturor culturilor este cea mai strînsă combinație posibilă între dreptate și caritate; totuși în fiecare caz în care se cere aplicarea strictă a legii, nu mai rămîne loc și pentru caritate și, invers, bunăvoința și mila intră în conflict cu toate ideile de justiție. Acest lucru este ilustrat în multe religii în mod mitic prin lupta între zeități personificînd astfel de idealuri. În vechea filozofie orientală, o regăsim în căutarea armoniei în viața omenească și în aceea că pe scena existenței noi sîntem în egală măsură actori și spectatori.

La compararea diferitelor culturi bazate pe o tradiție întreținută de evenimente istorice, ne întîlnim cu dificultatea aprecierii culturii unei națiuni pe baza tradițiilor alteia. În acest sens legătura între culturile naționale a fost descrisă uneori drept complementară, deși acest cuvînt nu poate fi luat aici în sensul strict în care este folosit în fizica atomică sau în analiza psihologică, unde avem de-a face cu caracteristici invariabile ale situației noastre. De fapt, contactul dintre popoare conduce adesea la o fuzionare a culturilor, în care se păstrează elementele cele mai valoroase ale tradițiilor naționale. Pentru dezvăluirea unor trăsături comune dezvoltării culturale, s-a dovedit foarte utilă și cercetarea antropologică. Desigur, problema unității cunoașterii cu greu poate fi separată de efortul spre o înțelegere universală ca mijloc de ridicare a culturii umane.

În încheiere, aș vrea să mă scuz că am vorbit despre probleme atît de generale, făcînd referiri tot timpul doar la un domeniu atît de special al cunoașterii, reprezentat numai de fizică. Am încercat totuși să indic atitudinea generală sugerată de lecția generală pe care ne-a oferit-o acest domeniu și pe care o consider de mare importanță

pentru problema unității cunoașterii. Această atitudine poate fi rezumată prin tendința de a realiza o înțelegere armonioasă a unor aspecte cît mai largi ale situației noastre. Va trebui să recunoaștem că nici o experiență nu poate fi definită fără un cadru logic și că orice dezacord aparent poate fi înlăturat numai printr-o lărgire potrivită a sistemului de noțiuni.

VI

Atomii și cunoașterea umană

1955

În istoria științei cercetările efectuate în acest secol în lumea atomilor par a oferi cu greu o paralelă între progresul cunoașterii și stăpînirea naturii. Totuși dezvoltarea cunoștințelor și a posibilităților sînt legate de o mai mare responsabilitate. Îndeplinirea bogatelor promisiuni ale erei atomice și eliminarea noilor pericole aruncă civilizației noastre o provocare. Ea poate fi rezolvată numai prin cooperarea tuturor popoarelor, cooperare bazată pe înțelegerea reciprocă a prieteniei umane. În acest sens e important să înțelegem că știința, care nu cunoaște granițe naționale și ale cărei realizări și posibilități constituie o proprietate comună întregii omeniri, a reușit să unească în decursul timpului eforturile oamenilor în vederea elucidării bazelor cunoștințelor noastre. Așa cum voi încerca să arăt, studiul atomilor a adus după sine consecințe bogate. Progresul său s-a bazat pe o largă cooperare mondială și nu numai că a dus la adîncirea înțelegerii noastre într-un nou domeniu experimental, dar a aruncat o lumină nouă asupra problemelor generale ale cunoașterii.

La început am putea părea surprinși de faptul că știința atomului ar conține o lecție atît de generală, însă trebuie să ne amintim că ea conține în toate etapele ei de dezvoltare, profunde probleme de cunoaștere. Astfel, gînditorii antichității, presupunînd o limită pentru divizibilitatea substanței, încercau să stabilească o bază pentru a înțelege caracterul de permanență pe care-l prezină fenomenele naturale, în ciuda diversității și a variabilității lor. Deși ideile atomiste au contribuit din ce în ce mai fructuos la dezvoltarea fizicii și chimiei încă de la Renaștere, ele

au fost privite ca ipoteze pînă la începutul acestui secol. Desigur, era evident că organele noastre de simţ, ele însele compuse din nenumăraţi atomi, erau prea grosolane pentru ca să poată sesiza cele mai mici părţi de materie. Această situaţie s-a schimbat complet datorită marilor descoperiri din pragul secolului nostru. După cum se ştie, progresul realizat în tehnica experimentală a dat posibilitatea să se înregistreze efectele atomilor separaţi şi să se obţină chiar şi informaţii de la particulele mai elementare din care atomul însuşi este compus.

În ciuda profundei influenţe pe care atomismul antic a avut-o asupra concepţiei mecaniciste asupra naturii, experienţele de astronomie şi de fizică imediat realizabile au făcut să se descopere legile cuprinse în aşa-numita fizică clasică. Învăţătura lui Galilei, după care descrierea fenomenului trebuie să se bazeze numai pe cantităţi măsurabile, a făcut posibilă eliminarea acelor vederi animiste, care au constituit atît de multă vreme un obstacol pentru formularea raţională a mecanicii. Principiile lui Newton au fost construite pe o bază deterministă, care, pornind de la cunoaşterea unei anumite stări a unui sistem fizic la un moment dat, permite precizarea stării lui în orice alt moment următor. Mai tîrziu, a fost posibil ca să se descrie cu aceleaşi metode şi fenomenele electromagnetice. Aceasta însă cerea ca la descrierea stării unui sistem să se cunoască, în afară de posibilităţile şi vitezele corpurilor electrizate şi magnetizate, şi direcţia şi intensitatea forţelor magnetice şi electrice în orice punct din spaţiu, la un moment dat.

Multă vreme s-a crezut că sistemul de noţiuni care caracterizează fizica clasică trebuie să ne furnizeze un mod de descriere corect pentru toate fenomenele fizice. În orice caz, se părea că nu era mai puţin potrivit pentru a fi utilizat la dezvoltarea ideilor atomiste. Bineînţeles, pentru sistemele de tipul corpurilor obişnuite, formate dintr-un număr mare de atomi, nu se punea problema unei descrieri exhaustive a stării sistemului. Totuşi pe baza principiilor mecanicii clasice, fără a abandona idealul determinist, se poate ajunge să se stabilească regularităţi statistice care reflectă multe din proprietăţile corpurilor materiale. Legile mişcării din mecanică permit o inversare totală a

cursului desfășurării unui proces izolat. Poate fi dată însă și o explicație a caracterului complet ireversibil, caracteristic fenomenelor termice, pe baza echilibrului statistic al energiei, care se stabilește la interacțiunile dintre molecule. Această importantă extindere a aplicațiilor mecanicii subliniază necesitatea ideilor atomiste pentru descrierea naturii și, pentru prima dată, deschide posibilitatea de a număra atomii în substanța materială.

Odată cu clarificarea bazelor legilor termodinamicii, s-a deschis și calea pentru descoperirea unui caracter global al proceselor atomice, depășind cu mult vechea teorie a divizibilității limitate a materiei. După cum se știe, analiza amănunțită a fenomenelor radiației termice a devenit piatra de încercare a aplicabilității ideilor fizicii clasice. Descoperirea undelor electromagnetice a furnizat deja o bază care permite înțelegerea propagării luminii și explicarea unui mare număr de proprietăți optice ale substanțelor materiale. Însă dacă am încerca să aplicăm aceste idei pentru explicarea echilibrului radiației, am întîmpina dificultăți imposibil de rezolvat. Faptul că ne aflăm aici în fața unor argumente bazate pe principii generale, complet independente de ipotezele particulare bazate pe elementele constituente ale materiei, l-a condus pe Planck, în primul an al acestui secol, la descoperirea cuantei universale de acțiune. Această descoperire a arătat apoi în mod clar că descrierea naturii pe care o face fizica clasică nu este decît o idealizare, al cărei domeniu de aplicabilitate este limitat. În cazul fenomenelor care au loc la scara obișnuită, acțiunile puse în joc sînt atît de mari în raport cu cuanta de acțiune, încît aceasta poate fi neglijată. Însă, în procesele cuantice propriu-zise întîlnim legi care sînt complet străine concepției mecaniciste despre natură și care sfidează orice descriere deterministă intuitivă.

Problema pe care descoperirea lui Planck o punea fizicienilor era foarte dificilă. Trebuiau analizate profund ipotezele pe care se bazează aplicarea noțiunilor noastre cele mai elementare și să se facă loc pentru cuanta de acțiune, într-o generalizare rațională a descrierii fizicii cla-

sice. În decursul dezvoltării fizicii cuantice, care ne-a adus atîtea surprize, noi am constatat tot timpul cît este de dificil să te orientezi într-un domeniu experimental îndepărtat de cel pentru care sînt adaptate mijloacele noastre de exprimare. Au fost făcute totuşi progrese rapide datorită unei intense colaborări între fizicienii din numeroase ţări, ale căror diverse moduri de abordare au contribuit cu cea mai mare eficacitate la precizarea problemei din ce în ce mai exact. Evident, nu va fi posibil să expun în detaliu contribuţiile individuale, însă, ca un fundal pentru consideraţiile care urmează, voi aminti pe scurt cîteva din etapele principale ale acestei dezvoltări.

Planck se limita cu prudenţă la argumente statistice şi insista asupra dificultăţilor de care ne ciocnim de îndată ce abandonăm fundamentele clasice pentru descrierea naturii în detaliu. Einstein a subliniat însă cu îndrăzneală necesitatea de a se ţine seama de cuanta de acţiune în fenomenele atomice individuale. În acelaşi an în care completa atît de armonios osatura fizicii clasice prin crearea teoriei relativităţii, el arăta că la descrierea observaţiilor făcute asupra efectului fotoelectric este necesar să se presupună că transferul de energie pentru fiecare din electronii extraşi din substanţele materiale corespunde absorbţiei unei aşa-numite cuante de radiaţie. Deoarece ideea de undă era indispensabilă pentru a ţine seama de propagarea luminii, nu putea fi vorba de a o înlocui în mod simplu printr-o descriere corpusculară. Din această cauză, oamenii de ştiinţă se aflau în faţa unei dileme deosebite care cerea o analiză completă a posibilităţilor noţiunilor noastre descriptive.

După cum se ştie, această problemă a devenit şi mai acută odată cu descoperirea de către Rutherford a nucleului atomic. Nucleul conţine aproape întreaga masă a atomului, în ciuda dimensiunilor sale reduse, iar sarcina sa electrică corespunde numărului de electroni pe care îi conţine atomul neutru. Ajungem astfel la o reprezentare simplă a atomului, care ne sugerează direct aplicarea ideilor împrumutate din mecanică şi electromagnetism. Totuşi, era evident că nu putea să existe nici o configuraţie de particule electrizate care, conform principiilor fizicii clasice, să posede stabilitatea necesară pentru a explica pro-

prietățile fizice și chimice ale atomilor. În particular, în conformitate cu principiile electromagnetismului clasic, orice mișcare a electronilor în jurul atomului ar trebui să producă o radiație continuă de energie, implicînd o contracție rapidă a sistemului. În cele din urmă electronii ar cădea în nucleu, formînd o particulă neutră, avînd dimensiuni neglijabil de mici în raport cu cele care trebuie atribuite atomului. Totuși, legile empirice, complet de neînțeles pe atunci, ale spectrelor de linii ale elementelor au constituit un prim indiciu asupra importanței decisive a cuantei de acțiune pentru stabilitatea și reacțiile radiative ale atomului.

Punctul de plecare a fost aici ceea ce se numește postulatul cuantic, după care orice variație de energie dintr-un atom este rezultatul tranziției complete între două dintre stările lui staționare. Presupunînd, mai departe, că în toate reacțiile radiative ale atomului are loc emisia sau absorbția unei singure cuante de lumină, valorile energiei stărilor staționare au putut fi determinate cu ajutorul spectrului. Era însă evident că o explicație a indivizibilității proceselor de tranziție, sau a apariției lor în anumite condiții, nu se putea da în cadrul unei descrieri deterministe. S-a dovedit însă că era posibil să se obțină o imagine generală asupra legăturilor electronilor în atom — fapt care reflectă multe din proprietățile substanței — cu ajutorul așa-numitului principiu de corespondență. Pe baza unei comparații cu desfășurarea proceselor, așa cum ar fi ele descrise de fizica clasică, au fost căutate directivele pentru o generalizare statistică a descrierii lor, compatibilă cu postulatul cuantic. Mai mult, a devenit din ce în ce mai clar că, pentru a se putea obține o teorie consistentă a fenomenelor atomice era necesar să se renunțe din ce în ce mai mult la utilizarea de imagini și că trebuia să se formuleze din nou și să se schimbe radical descrierea de pînă atunci a fenomenelor, pentru a se putea face loc tuturor aspectelor legate de cuanta de acțiune.

Soluția la care s-a ajuns, rezultatul contribuțiilor ingenioase ale unora dintre cei mai buni teoreticieni ai epocii noastre, este de o simplitate surprinzătoare. Ca și în cazul teoriei relativității, dezvoltarea unor abstracții matematice a condus la făurirea unor instrumente de lucru potrivite

pentru formularea teoriei. Cantităţile care serveau în fizica clasică pentru descrierea stării unui sistem, sînt înlocuite în formalismul mecanicii cuantice prin operaţii simbolice a căror comutabilitate este limitată de reguli care conţin cuanta de acţiune. Acestea implică faptul că nu putem atribui simultan valori definite pentru cantităţile care desemnează coordonatele poziţiei unei particule şi componentele corespunzătoare ale impulsului. Caracterul statistic al formalismului apare astfel ca o generalizare naturală a descrierii date în fizica clasică. De altfel, această generalizare permite o formulare consecventă a regulilor care limitează individualitatea particulelor identice, reguli legate de cuanta de acţiune şi care nu pot fi exprimate cu ajutorul reprezentărilor fizice obişnuite.

Metodele mecanicii cuantice au permis explicarea unui mare număr de fapte experimentale evidente, referitoare la proprietăţile fizice şi chimice ale corpurilor. A fost posibil să se explice în detaliu nu numai legarea electronilor în atomi şi molecule, ci s-a obţinut şi o reprezentare profundă a constituţiei şi reacţiilor nucleelor atomice. În legătură cu aceasta, se mai poate menţiona faptul că legile de probabilitate care guvernează transmutarea radioactivă spontană au fost încorporate armonios în descrierea statisticii cuantice. De asemenea, în înţelegerea proprietăţilor noilor particule elementare, care au fost observate în ultimii ani în studiul transmutaţiilor nucleelor atomice la mari energii, se fac continue progrese în adaptarea formalismului la cerinţele de invarianţă ale teoriei relativităţii. Dar, în faţa noastră stau mereu noi probleme a căror soluţie va cere evident noi abstracţii, permiţîndu-ne să combinăm cuanta de acţiune cu sarcina electrică elementară.

În ciuda fertilităţii mecanicii cuantice în domenii atît de întinse ale experienţei, renunţarea la cerinţele tradiţionale ale explicării fizice a determinat pe mulţi fizicieni şi filozofi să se îndoiască că am avea de-a face aici cu o descriere exhaustivă a fenomenelor atomice. În special, a circulat părerea că modul statistic de descriere trebuie privit ca un expedient temporar care, în principiu, va putea fi înlocuit cu o descriere deterministă. Discutarea profundă a acestei probleme a dus însă la acea clarificare

a propriei noastre poziții ca observatori ai proceselor atomice, din care s-au tras învățămintele epistemologice la care ne-am referit la început.

Deoarece problema științei este de a dezvolta și ordona experiența noastră, orice analiză a condițiilor cunoașterii umane trebuie să se bazeze pe caracterul și completitudinea mijloacelor noastre de comunicare. Baza acestora o constituie, desigur, limbajul necesar pentru orientarea în diferite împrejurări și pentru organizarea comunităților umane. Însă, acumularea experienței a ridicat în repetate rînduri problema suficienței noțiunilor și ideilor cuprinse în limbajul de toate zilele. Din cauza unei relative simplități, problemele fizicii sînt potrivite pentru încercarea calității mijloacelor noastre de comunicare. Desigur, dezvoltarea fizicii atomice ne-a învățat cum este posibil ca, fără să abandonăm limbajul comun, să creăm un cadru suficient de larg pentru o descriere exhaustivă a noilor experiențe.

În legătură cu aceasta, trebuie înainte de toate să înțelegem că în orice descriere a unei experiențe de fizică trebuie să redăm atît condițiile experimentale, cît și observațiile cu aceleași mijloace de comunicare de care face uz și fizica clasică. În studiul particulelor atomice izolate, acest lucru se face cu ajutorul efectelor ireversibile de amplificare. De exemplu, prin urma lăsată pe o placă fotografică de ciocnirea unui electron, sau printr-o descărcare electrică dintr-un contor. Există și observații care nu conțin decît locul și momentul în care a fost înregistrată particula în placă, sau de exemplu energia ei la intrarea în contor. Desigur, o astfel de informație presupune cunoașterea poziției plăcii fotografice față de alte părți ale instalației experimentale, ca diafragme și obturatoare, care definesc coordonatele în spațiu-timp, sau față de corpuri electrizate sau magnetizate, care determină cîmpul exterior de forțe ce acționează asupra particulei și permit efectuarea unor măsurători de energie. Condițiile experimentale pot fi variate în mai multe feluri, însă lucrul cel mai important este că în fiecare caz trebuie să fim în stare să co-

municăm altcuiva ceea ce am făcut şi ceea ce am aflat. De aceea, descrierea funcţionării aparatelor de măsură trebuie să se facă în cadrul ideilor fizicii clasice.

În toate măsurătorile efectuate în felul acesta, avem de-a face cu corpuri suficient de grele pentru a putea neglija cuanta de acţiune atunci cînd facem descrierea lor. Astfel că, la drept vorbind, nu avem o nouă problemă de observaţie în fizica atomică. Amplificarea efectelor atomice, care permite ca descrierea să se poată baza pe cantităţi măsurabile şi dă fenomenelor un anumit caracter de indivizibilitate, nu face decît să sublinieze ireversibilitatea inerentă însăşi noţiunii de observaţie. Dacă în cadrul fizicii clasice nu era, în principiu nici o deosebire între descrierea instrumentelor de măsură şi descrierea obiectelor de cercetat, situaţia este cu totul alta cînd studiem fenomene cuantice. Aici cuanta de acţiune impune restricţii în descrierea stării sistemelor în coordonate de spaţiu-timp şi impuls-energie, în timp ce descrierea deterministă a fizicii clasice se bazează pe presupunerea unei compatibilităţi riguroase între localizarea în spaţiu-timp şi aplicarea legilor dinamice de conservare. Evident sîntem puşi în faţa problemei de a răspunde dacă o astfel de descriere mai poate fi menţinută în întregime şi pentru obiectele atomice.

S-a constatat că în clarificarea acestui lucru un rol deosebit de important îl joacă interacţiunea dintre obiecte şi aparatele de măsură. După cum a subliniat Heisenberg, localizarea unui obiect într-un domeniu limitat în spaţiu şi timp implică, conform mecanicii cuantice, un schimb de impuls şi energie între instrument şi obiect, care este cu atît mai mare cu cît este mai mic domeniul ales. Era deci foarte important să se examineze în ce măsură se putea ţine seama în descrierea fenomenelor de această interacţiune implicată de observaţia însăşi. Această problemă a stat în centrul multor discuţii, în care apăreau multe propuneri referitoare la controlul complet al tutror interacţiunilor. Însă toate aceste consideraţii nu ţineau niciodată seama de faptul că în însăşi descrierea funcţionării aparatelor de măsură, toate interacţiunile dintre acestea şi obiectele atomice, implicate de cuanta de acţiune, fac parte indisolubilă din fenomene.

Orice dispozitiv experimental, care permite înregistrarea unei particule atomice într-un domeniu limitat în spațiu și timp cere rigle gradate fixe și ceasuri sincronizate. Prin însăși definiția lor, acestea exclud controlul impulsului și energiei care le sînt transmise. Reciproc, pentru a putea aplica fără ambiguitate legile dinamice de conservare în fizica cuantică, trebuie să se renunțe în principiu, în descrierea fenomenelor, la o localizare precisă în spațiu și timp. Această excluziune reciprocă a condițiilor experimentale, cere să se țină seama de totalitatea dispozitivului experimental pentru a descrie corect fenomenul. Indivizibilitatea fenomenelor cuantice își găsește expresia logică în faptul că orice subdiviziune a fenomenului, care poate fi definită, implică o schimbare a aranjamentului experimental, cu apariția de noi fenomene individuale. Astfel, însăși baza unei descrieri deterministe dispare și apare caracterul statistic al prezicerilor, datorită faptului că într-unul și același dispozitiv experimental, vom observa în general diferite procese individuale.

Considerațiile de acest gen nu numai că au clarificat dilema despre care am mai vorbit, referitoare la propagarea luminii, dar au rezolvat complet și paradoxurile similare care apăreau atunci cînd încercam să reprezentăm vizual comportarea particulelor materiale. Evident, nu putem găsi aici o explicație fizică în sensul obișnuit al cuvîntului. Tot ceea ce am putea pretinde într-un nou domeniu experimental este să putem înlătura orice contradicție aparentă. Oricît de diferite ar fi fenomenele atomice observate în diferite condiții experimentale, astfel de fenomene trebuie considerate complementare, în sensul că fiecare este bine definit și că, împreună, ele epuizează toate cunoștințele asupra obiectelor considerate. Formalismul mecanicii cuantice, al cărui singur scop este să unifice observațiile obținute în condițiile experimentale descrise prin noțiuni fizice simple, dă unui foarte întins domeniu experimental o descriere complementară exhaustivă. Renunțarea la reprezentarea intuitivă nu este completă, ea se referă numai la starea obiectelor atomice. Nu se renunță însă la baza pentru descrierea condițiilor experimentale, ca și la libertatea de a le alege. Întregul formalism, care nu se

aplică decît fenomenelor închise, trebuie considerat sub toate aceste raporturi drept o generalizare a fizicii clasice.

Dată fiind influența pe care concepția mecanicistă a avut-o asupra gîndirii filozofice, înțelegem de ce se credea uneori că noțiunea de complementaritate implică o referire la un observator subiectiv, referire incompatibilă cu descrierea științifică obiectivă. În orice domeniu experimental trebuie desigur să facem o distincție clară între observator și conținutul observațiilor. Trebuie însă să înțelegem că descoperirea cuantei de acțiune a aruncat o nouă lumină asupra bazelor înseși ale descrierii naturii și a arătat că pentru o utilizare rațională a noțiunilor pe care se bazează comunicarea faptelor experimentale sînt necesare presupuneri a căror existență nici măcar nu putea fi bănuită. În fizica cuantică, după cum am văzut, e necesară descrierea funcționării aparatelor pentru definirea fenomenelor și trebuie, ca să spunem așa, să facem distincție între subiect și obiect în sensul că pentru fiecare caz individual trebuie să asigurăm aplicarea neechivocă a noțiunilor fizice elementare folosite la descrierea fenomenelor. Departe de a conține orice urmă de misticism, străin de spiritul științific, noțiunea de complementaritate subliniază condițiile logice necesare descrierii și înțelegerii experienței în fizica atomică.

Lecția epistemologică pe care ne-a dat-o fizica atomică — asemănătoare cu situații întîlnite mai înainte în dezvoltarea fizicii — ne obligă la reconsiderarea utilizării mijloacelor noastre de comunicare pentru o descriere obiectivă și în alte domenii ale cunoașterii. Accentul care s-a pus pe problema observării a ridicat problema poziției organismelor vii în descrierea naturii și a propriei noastre situații de ființe care gîndesc și acționează. Dacă era posibil într-o oarecare măsură ca în cadrul fizicii clasice să comparăm organismele cu mașini, era totuși evident că astfel de comparații nu pot să țină seama de multe dintre caracteristicile vieții. Insuficiența concepției mecaniciste asupra naturii în descrierea poziției omului este deosebit de evidentă în dificultățile legate de distincția primitivă dintre suflet și corp.

Problemele pe care le întîlnim aici sînt desigur legate de faptul că se face descrierea multor aspecte ale existenței umane cu o terminologie care nu este bazată direct pe imagini fizice simple. Totuși, recunoscînd aplicabilitatea limitată a unor astfel de imagini în descrierea fenomenelor atomice, putem să ne facem o imagine asupra modului cum trebuie înțelese fenomenele biologice și psihologice în cadrul unei descrieri obiective. Ca și mai înainte, și aici e important să ne dăm seama de separarea dintre observator și conținutul comunicărilor. În concepția mecanicistă asupra naturii, distincția subiect-obiect este fixată. Recunoașterea aplicării consecvente a reprezentărilor noastre necesită uneori diferite poziții pentru linia de separație dintre subiect și obiect, lăsînd astfel mai mult spațiu pentru lărgirea descrierii.

Fără să încercăm vreo definire exhaustivă a vieții organice, putem spune că un organism viu este caracterizat prin integritatea și adaptabilitatea sa. Aceasta înseamnă că descrierea funcțiunilor interne ale organismului și reacția sa la stimuli exteriori cer adesea utilizarea cuvîntului „finalitate", care e complet străin fizicii și chimiei. Deși rezultatele fizicii atomice și-au găsit multiple aplicații în biofizică și biochimie, fenomenele cuantice individuale închise nu exprimă nici o trăsătură caracteristică pentru noțiunea de viață. După cum am văzut, descrierea fenomenelor atomice, exhaustivă pentru un larg domeniu experimental, se bazează pe utilizarea liberă a acelor aparate de măsură care sînt necesare pentru aplicarea cea mai potrivită a noțiunilor elementare. Pentru organismele vii, totuși, o astfel de distincție între instrumentele de măsură și obiectele de cercetat poate fi cu greu realizată complet. Trebuie să ne așteptăm la faptul că orice aranjament experimental, al cărui scop este să descrie funcționarea organismului și care este bine definit în sensul fizicii atomice, va fi incompatibil cu manifestările vieții.

În cercetările biologice se fac adesea referiri la caracterul de totalitate al reacțiilor finaliste ale organismelor vii, punîndu-se în evidență în același timp informații din ce în ce mai multe și mai amănunțite asupra structurii lor și a proceselor de reglare care au loc. Se știe de exemplu ce progrese remarcabile s-au realizat pe această cale în

medicină. E vorba aici de o metodă practică de aproximație, într-un domeniu de cercetare în care mijloacele de exprimare utilizate pentru descrierea diferitelor aspecte se referă la condiții de observare care se exclud reciproc. Aceasta ne-ar face să recunoaștem că atitudinile mecaniciste și finaliste nu sînt puncte de vedere contradictorii, ci prezintă o relație de complementaritate, care este legată de poziția noastră ca observatori ai naturii. Totuși, pentru a evita orice neînțelegere, este esențial să notăm că, în contradicție cu descrierea regularităților atomice, descrierea vieții organice și evaluarea posibilităților ei de dezvoltare nu pot avea pretenția de a fi complete, ci numai să tindă spre realizarea unui sistem de noțiuni suficient de cuprinzător.

În descrierea experiențelor psihologice, întîlnim condiții de observare și mijloace de exprimare corespunzătoare, care se îndepărtează încă și mai mult de terminologia utilizată în fizică. Independent de necesitatea folosirii unor cuvinte ca instinct și rațiune, în descrierea comportării animalului, nu putem să ne lipsim de utilizarea cuvîntului conștiință cînd este vorba de noi, de alții și în general de om. Cu toate că limbajul adoptat orientării noastre în lumea înconjurătoare ar putea pleca de la imagini fizice simple și de la ideea de cauzalitate, totuși, pentru descrierea stărilor noastre de conștiință este nevoie de un mod de descriere tipic complementar. În adevăr, utilizarea unor cuvinte ca gîndire și sentiment nu se referă la un lanț cauzal complet închis, ci la experiențe care se exclud una pe alta, din cauza diferențelor pe care ele le implică între conținutul conștient și fond, pe care noi îl numim atît de imprecis „noi înșine".

În acest sens este foarte instructivă relația dintre un sentiment de voință și aprecierea conștientă a motivelor de acțiune. Imposibilitatea de a evita astfel de mijloace de exprimare contradictorii pentru descrierea bogăției vieții conștiente ne amintește de modul cum sînt utilizate noțiunile fizice elementare în fizica atomică. Într-o astfel de comparație, totuși, trebuie să recunoaștem că experiența psihică nu poate fi supusă unor măsurători fizice. Însăși noțiunea de voință, departe de a corespunde generalizării unei descrieri deterministe, tinde de la început să caracte-

rizeze viața omenească. Fără să intrăm în vechea dispută filozofică a liberului-arbitru, aș menționa că, într-o descriere obiectivă a situației noastre, utilizarea cuvîntului „voință" este tot atît de importantă ca și utilizarea cuvintelor „speranță" sau „responsabilitate", care sînt la fel de indispensabile pentru comunicare dintre oameni.

Avem de-a face aici cu probleme care privesc comunitatea umană, în care varietatea mijloacelor de expresie este generată de imposibilitatea de a caracteriza, printr-o distincție bine delimitată, rolul individului în societate. Faptul că diversele culturi umane, dezvoltate în condiții de viață diferite, prezintă în tradițiile lor ca și în structurile lor sociale, atît de mari contraste, ne permite să le considerăm într-un anumit sens complementare. Totuși, aici nu avem de-a face cu trăsături care se exclud reciproc, ca acelea întîlnite în descrierea obiectivă a problemelor generale de fizică și psihologie, ci cu diferențe de atitudine, care pot fi apreciate sau ameliorate prin extinderea legăturilor între popoare.

În epoca noastră, în care progresul cunoașterii și al tehnicii leagă mai mult ca oricînd destinul tuturor popoarelor, colaborarea științifică internațională este una din sarcinile cele mai importante. Ea nu va putea fi rezolvată dacă nu vom avea o imagine clară a condițiilor generale ale cunoașterii umane.

VII

Fizica și problema vieții

1957

A fost o plăcere pentru mine să accept invitația Societății Medicale din Copenhaga de a ține una din conferințele prin care Societatea omagiază memoria unui celebru savant danez, a cărui operă este apreciată din ce în ce mai mult nu numai în patria lui, ci și în toată lumea științifică. Drept temă pentru conferința mea am ales una din problemele care a preocupat spiritul omenesc în decursul anilor și care l-a preocupat foarte mult și pe Niels Stensen, și anume: în ce măsură experiența dobîndită în fizică, ne poate ajuta la explicarea vieții organice și a manifestărilor ei atît de bogate și variate? După cum voi încerca să arăt, progresul fizicii din ultimele decenii ne-a furnizat o nouă bază pentru abordarea acestei probleme, și anume explorarea lumii atomilor, care ne-a fost atît de multă vreme inaccesibilă și care ne-a condus la reconsiderarea poziției noastre de observatori ai naturii din care noi înșine facem parte.

Păreri divergente asupra mijloacelor și noțiunilor care sînt cele mai potrivite pentru descrierea deosebirilor nete dintre organismele vii și alte corpuri materiale au existat încă în școlile filozofice din Grecia antică. După cum se știe, atomiștii considerau că o limitare a divizibilității materiei este necesară nu numai pentru explicarea fenomenelor simple, ci și pentru explicarea funcționării organismelor și a experiențelor psihice legate de acestea. Însă, pe de altă parte Aristotel respingea ideile atomiste. Considerînd că orice organism viu se comportă ca un tot, el insista asupra necesității de a se introduce în descrierea naturii noțiuni ca cele de perfecțiune și finalitate.

Aproape 2 000 de ani situația aceasta a rămas neschimbată. Abia Renașterea i-a dat un nou impuls, odată cu efectuarea unor mari descoperiri în fizică și biologie. Progresul făcut în fizică a constat în primul rînd în renunțarea la ideea lui Aristotel asupra forței motrice drept cauză a mișcării. Considerînd că mișcarea uniformă este o manifestare a inerției și că forța este cauza variației mișcării, Galilei a ajuns să pună bazele dezvoltării mecanicii. Newton avea apoi să-i dea acesteia o formă atît de solidă și logică, încît a ajuns să fie admirată de toate generațiile care au urmat. În așa-numita „mecanică clasică", oricare referire la scop este eliminată, deoarece evoluția fenomenelor este descrisă aici ca o consecință care rezultă în mod automat din condițiile inițiale.

Progresul realizat în mecanică nu putea să nu exercite o puternică influență asupra științei din acea vreme.

Astfel, studiile de anatomie ale lui Vesalius și descoperirea de către Harvey a circulației sîngelui au sugerat compararea organismelor vii cu mașinile care funcționau conform legilor mecanicii. Dintre filozofi, în special Descartes sublinia analogia dintre animale și mecanisme. Referindu-se la om, el îi atribuie un suflet, care s-ar găsi într-o anumită glandă din creier, interacționînd astfel cu corpul. Niels Stensen a fost acela care, în celebra sa conferință despre anatomia creierului, ținută la Paris, a subliniat insuficiența cunoștințelor din acea vreme asupra tuturor acestor fenomene. Această conferință rămîne ca o importantă mărturie asupra marilor calități de observator și a excepționalei libertăți de judecată care caracterizează întreaga operă științifică a lui Stensen.

Dezvoltarea ulterioară a biologiei, în special după invenția microscopului, a dezvăluit deosebita finețe care există în structura organismelor vii și în procesele de reglare. În același timp cu dezvoltarea ideilor mecaniciste, care își găseau explicații din ce în ce mai numeroase, au reapărut și punctele de vedere vitaliste și finaliste, inspirate de minunata putere de regenerare și adaptare a organismelor. Departe însă de a reveni la ideile primitive ale forței vitale, care ar acționa în organisme, ideile acestea subliniau insuficiența metodei fizice de aproximație pentru descrierea caracteristicilor vieții. Ca o succintă prezentare a situației,

așa cum era ea la începutul acestui secol, aș vrea să citez aici un text scris de tatăl meu, fiziologul Christian Bohr, ca introducere la articolul său *Asupra dilatării patologice a plămînului*, apărut în volumul jubiliar publicat cu ocazia aniversării Universității din Copenhaga, în 1910.

„Sarcina specială a fiziologiei în măsura în care ea poate fi considerată ca o ramură specială a științelor naturii, este de a studia fenomenele care sînt specifice, organismului viu, considerat ca un obiect dat al experienței și să ajungă astfel la o înțelegere a contribuției diverselor sale părți la autoreglare, cum se echilibrează acestea unele pe altele și cum se adaptează împreună la variația influențelor exterioare și a proceselor interne. Însăși natura acestei probleme cere utilizarea unor cuvinte ca „scop", prin care se înțelege menținerea organismului, și „finalitate", care se referă la mecanismele de reglare folosite pentru această menținere. În acest sens vom utiliza în cele ce urmează termenul de finalitate a funcțiilor organice. Dar pentru ca în fiecare caz particular folosirea acestor noțiuni să nu fie sau lipsită de conținut sau înșelătoare, trebuie ca analiza experimentală a fenomenelor organice studiate să fie dusă atît de departe, încît să se vadă clar la fiecare pas cum contribuie ele la menținerea organismului. Această condiție nu implică decît o demonstrație științifică, care să arate că termenul finalitate este folosit în fiecare caz conform definiției date. Deși acest lucru pare evident este bine ca el să fie încă o dată subliniat. Într-adevăr cercetările fiziologice au scos la iveală o varietate atît de mare de mecanisme de reglare de o deosebită finețe, încît am fi tentați să atribuim o finalitate oricărei manifestări de viață, fără ca să determinăm experimental în amănunt modul de funcționare al fiecăruia. Am ajuns astfel să ne bazăm pe analogii. Ele s-ar găsi destul de ușor în multitudinea funcțiilor organice și s-ar interpreta astfel mecanismul proceselor vitale printr-o adaptare la scop, pe baza unei estimări subiective a tipului special de finalitate căruia ar trebui să-i aparțină. Este evident că, adesea, datorită cunoștințelor noastre foarte limitate asupra organismului, astfel de judecăți personale pot fi eronate. În această privință nu lipsesc exemplele. În astfel de cazuri, insuficienta analiză experimentală a detaliilor unui proces fiziologic face ca metoda

să conducă la rezultate eronate. Pe de altă parte admiterea *apriori* a finalității unui proces organic ca principiu euristic este foarte naturală. Mai mult decît atît, condițiile dintr-un organism fiind deosebit de complicate și, deci, dificile de înțeles, ele fac ca această ipoteză să fie deosebit de utilă și chiar indispensabilă atunci cînd se caută soluția unei anumite probleme. Trebuie să se facă însă distincția dintre ceea ce poate fi util într-o cercetare preliminară și ceea ce ar trebui să considerăm ca rezultat real. Nu putem răspunde în ce măsură este vorba de problema adaptării unei funcții date la scopul de a contribui la supraviețuirea organismului întreg, decît după o demonstrație amănunțită în care am arătat pas cu pas în ce fel a fost atins acest scop."

Am citat aceste observații, care exprimă atitudinea cercului în care am crescut și ale cărui discuții le-am ascultat în tinerețea mea, deoarece ele oferă un punct de plecare pentru cercetarea locului pe care îl ocupă organismele vii în descrierea naturii. După cum voi încerca să arăt, dezvoltarea recentă a fizicii atomice nu a contribuit numai la extinderea cunoștințelor noastre asupra atomilor și a constituției lor din părți mai elementare, ci, în același timp, a dezvăluit limitarea principală a așa-numitei concepții mecaniciste asupra naturii. În felul acesta s-a creat o nouă bază pentru problema foarte importantă, legată de subiectul nostru, despre ce înțelegem și ce putem cere de la explicația științifică.

Pentru a expune cît mai clar cu putință situația din fizică, voi începe prin a vă aminti punctul de vedere extremist care, sub imboldul succesului deosebit al mecanicii clasice, și-a găsit expresia în binecunoscuta concepție a lui Laplace asupra universului-mașină. Toate interacțiunile dintre părțile constitutive ale acestei mașini erau guvernate de legile mecanicii. O inteligență care ar fi cunoscut pozițiile relative și vitezele tuturor acestor părți la un moment dat ar fi putut să prezică orice eveniment următor care s-ar fi produs în lume, inclusiv comportările omului și ale animalelor. În această concepție, care după cum

se știe a jucat un rol important în discuțiile filozofice, nu se ține seama de condițiile cerute de o utilizare univocă a noțiunilor, indispensabilă comunicării rezultatelor experienței.

În legătură cu aceasta, dezvoltarea recentă a fizicii constituie o lecție. Astfel, explicația fenomenelor calorice ca o mișcare neîncetată a moleculelor din gaze, lichide și solide atrăsese încă mai de mult atenția asupra condițiilor de observare în descrierea unei experiențe. Desigur nu putea fi vorba de a descrie în amănunțime mișcarea fiecăreia din aceste particule practic nenumărabile, ci numai de a deduce legile statistice ale mișcării calorice cu ajutorul principiilor generale ale mecanicii. Contrastul dintre reversibilitatea proceselor mecanice simple și ireversibilitatea caracteristică pentru multe dintre fenomenele termodinamice a fost lămurit prin faptul că aplicarea unor noțiuni ca temperatură și entropie se referă la condiții experimentale incompatibile cu controlul complet al mișcării fiecărei molecule în parte.

În ceea ce privește menținerea și creșterea organismelor vii, adesea întîlnim o contradicție cu acea tendință, care decurge din legile termodinamicii, către echilibrul de temperatură și energie pentru un sistem fizic izolat. Să nu uităm însă că organismele sînt alimentate continuu cu energie liberă, prin nutriție și respirație. Cercetările de fiziologie cele mai aprofundate nu au putut pune în evidență nici o abatere de la principiile termodinamicii. Evident, nu este suficient numai să recunoaștem existența unor anumite asemănări între organismele vii și mașinile obișnuite, pentru a răspunde la întrebarea referitoare la locul organismelor vii în descrierea naturii. Această problemă cere un studiu mult mai aprofundat al problemei observației. Faptul acesta a fost scos în evidență într-un mod cu totul neașteptat prin descoperirea cuantei universale de acțiune. Aceasta conferă proceselor atomice un caracter de completitudine, care face imposibilă o separare între observarea fenomenelor și comportarea proprie a obiectelor, atît de caracteristică pentru concepția mecanicistă asupra naturii. În sistemele fizice, la scara macroscopică, putem considera fenomenele ca un lanț de stări, descris cu ajutorul unor mărimi măsurabile. Aici toate

acțiunile puse în joc sînt destul de mari pentru a putea face abstracție de interacțiunea dintre obiecte și corpurile pe care le-am folosit drept instrumente de măsură. În condițiile în care cuanta de acțiune joacă un rol hotărîtor și în care o astfel de interacțiune dintre obiect și aparatul de măsură devine o parte inseparabilă a fenomenelor descrise, nu putem să atribuim acestor fenomene în aceeași măsură ca și în mecanică un sens de evoluție bine definit.

Această imposibilitate de folosire a imaginilor fizice obișnuite își găsește o expresie netă în dificultățile care apar cînd se vorbește despre proprietățile obiectelor atomice, independent de condițiile în care au fost observate. Desigur că un electron poate fi definit ca o particulă electrizată, deoarece măsura masei sale dă întotdeauna același rezultat și orice modificare a sarcinii electrice a unui sistem corespunde deci schimbului unui număr întreg de sarcini elementare. Însă efectele de interferență, care apar la trecerea electronilor prin cristale, sînt incompatibile cu concepția mecanică asupra mișcării particulelor. Situații similare întîlnim în binecunoscuta dilemă asupra naturii luminii. Acolo fenomenele optice cereau utilizarea noțiunii de propagare a undei, pe cînd legile transferului de impuls și energie la fotoefectele atomice se refereau la ideea mecanică de particule.

Această nouă situație în fizică a cerut o reactualizare a preocupărilor asupra aplicării noțiunilor utilizate la orientarea în mediul înconjurător. Desigur că în fizica atomică noi ne păstrăm libertatea de a pune întrebări naturii prin experiențe. Însă va trebui să recunoaștem că toate condițiile experimentale, care pot fi variate pe diferite căi sînt definite numai prin corpuri atît de grele, încît în descrierea funcțiilor lor să putem neglija cuanta de acțiune. Informațiile referitoare la obiectele atomice constau numai din urmele pe care ele pot să le lase pe aceste instrumente de măsură, ca de exemplu, o urmă produsă de ciocnirea unui electron pe o placă fotografică așezată într-un anumit dispozitiv experimental. Faptul că astfel de urme se datoresc unor efecte de amplificare ireversibile constituie o caracteristică ce indică ireversibilitatea în principiu a însăși noțiunii de observație.

Situația specială din fizica cuantică este legată, înainte de toate, de faptul că informația dobîndită asupra obiectelor atomice nu poate fi înțeleasă pe baza schemelor trasate de concepția mecanicistă asupra naturii. De altfel, faptul că într-unul și același dispozitiv experimental putem face observații care corespund la diferite procese cuantice individuale, implică o limitare de principiu a modului determinist de descriere. Cerința unei divizibilități fără restricții, pe care se bazează fizica clasică, este în mod evident incompatibilă cu trăsătura de completitudine, caracteristică fenomenelor cuantice. Conform acesteia, orice subdiviziune care se poate defini cere o schimbare a aranjamentului experimental, ducînd astfel la noi efecte individuale.

Pentru a caracteriza relația dintre fenomenele observate în condiții experimentale diferite a fost introdus termenul de complementaritate. El subliniază că astfel de fenomene, luate în ansamblu, epuizează toată informația asupra obiectelor atomice. Departe de a conține o renunțare arbitrară la explicația fizică obișnuită, noțiunea de complementaritate se referă direct la poziția noastră de observatori, într-un domeniu experimental în care aplicarea univocă a noțiunilor folosite pentru descrierea fenomenelor, depinde esențial de condițiile de observare. Printr-o generalizare matematică a sistemului de noțiuni al fizicii clasice, s-a reușit să se dezvolte un formalism în care cuanta de acțiune a fost încorporată în mod logic.

Acest formalism așa-numit „mecanică cuantică", are drept scop să formuleze legile statistice valabile pentru rezultatele experimentale obținute în condiții de observare bine definite. Descrierea astfel obținută este în principiu completă, deoarece s-au păstrat ideile mecanicii clasice, în măsura în care se pot cuprinde toate variațiile ce pot fi definite, ale condițiilor experimentale.

Caracterul complementar al descrierii fenomenelor cu ajutorul mecanicii cuantice apare clar în descrierea compoziției și reacțiilor sistemelor atomice. Astfel, legile referitoare la stările energetice ale atomilor și moleculelor, care determină spectrele caracteristice ale elementelor și legăturilor de valență ale combinațiilor chimice, apar numai atunci cînd controlul asupra poziției electronilor din

interiorul atomului și moleculei este exclus. În legătură cu aceasta, este interesant de notat că aplicarea cu succes a formulelor de structură din chimie se bazează pe faptul că nucleele sînt mult mai grele decît electronii. De asemenea, legile mecanicii cuantice sînt hotărîtoare și în ceea ce privește stabilitatea și transmutațiile nucleelor atomice.

Numai într-o descriere complementară, care depășește cadrul concepției mecaniciste asupra naturii, este posibil să-și găsească locul legile fundamentale care determină proprietățile substanțelor din care sînt făcute atît instrumentele cît și corpurile studiate.

După cum se știe, progresul realizat în domeniul fizicii atomice a găsit largi aplicații în biologie. În particular, aș putea menționa faptul că una dintre aceste aplicații ne-a permis să înțelegem stabilitatea deosebită a acelor structuri chimice din celulă, pe care se bazează ereditatea speciilor. Totodată ele permit și explicarea legilor statistice care guvernează apariția mutațiilor produse prin expunerea organismului la diferiți agenți fizici. De altfel, efectele de amplificare, analoge celor care fac posibilă observarea particulelor atomice individuale, joacă un rol hotărîtor în multe din funcțiile organismului. Acestea subliniază caracterul ireversibil al fenomenelor tipic biologice. Sensul scurgerii timpului, necesar pentru a putea descrie fenomenele, este și mai bine marcat de faptul că experiența acumulată este utilizată pentru reacții la acțiunea unor stimuli care vor apărea în viitor.

Această dezvoltare promițătoare reprezintă o extindere foarte semnificativă și practic nelimitată a posibilităților de aplicare la problemele biologice a rezultatelor obținute în fizica și chimia pură. După cum însă mecanica cuantică este o generalizare logică a fizicii clasice, s-ar putea spune despre acest mod de abordare că este mecanicist. Problema care se pune este: în ce măsură acest progres a înlăturat baza utilizării argumentelor finaliste din biologie?

Nu trebuie să uităm că fenomenele cuantice, a căror descriere și sinteză formează un tot coerent, nu prezintă nici o trăsătură care ar indica că un ansamblu organizat de atomi ar putea fi capabil să se adapteze la mediu, așa cum observăm în evoluția și conservarea organismelor. Ar

fi de notat faptul că o descriere exhaustivă, în sensul mecanicii cuantice, a tuturor atomilor care se schimbă continuu în organism nu este numai irealizabilă în mod practic, ci evident, ar cere și condiții de observație incompatibile cu desfășurarea vieții.

Învățămintele pe care le-am tras în legătură cu rolul pe care îl joacă instrumentele de observație în definirea noțiunilor fizice elementare, ne dau totuși cheia pentru o aplicare logică a unor noțiuni străine de fizică, cum este de exemplu, finalitatea, care se utilizează direct la descrierea fenomenelor organice. Într-adevăr, pe această bază este evident că atît atitudinea mecanicistă cît și cea finalistă nu prezintă puncte de vedere contradictorii în biologie. Ele mai curînd subliniază faptul că există două tipuri de condiții de observare, care se exclud reciproc și care sînt la fel de indispensabile atunci cînd se urmărește o descriere mai completă a vieții organice. Desigur, nu este vorba aici de a explica viața în modul în care fizica clasică explică funcționarea construcțiilor mecanice simple sau a calculatoarelor electronice complexe. Este vorba de a împinge mai departe această analiză a condițiilor de bază și a posibilităților noțiunilor noastre ca mijloace de comunicare, analiză care a devenit atît de caracteristică pentru noua dezvoltare a fizicii.

Oricare ar fi diferențele între condițiile lor de observare, nici comunicarea rezultatelor obținute în biologie, nici descrierea experiențelor de fizică, nu fac aluzie la un observator subiectiv. Pînă acum nu a fost necesar să intrăm mai adînc în problema condițiilor de observare caracteristice pentru fenomenele psihologice pentru care nu putem lua ca bază sistemul de noțiuni pe care l-am dezvoltat pentru a ne orienta în natura neînsufletită. Deoarece însă toate experiențele noastre conștiente rămîn fixate în memorie și prin urmare trebuie să admitem că acest lucru se bazează pe modificări permanente ale organismului, sîntem conduși în mod natural să comparăm experiențele psihologice cu observațiile fizice. De asemenea, relațiile multiple care există între experiențele conștiente prezintă trăsături care amintesc condițiile necesare unei sinteze a experiențelor din fizica atomică. Vocabularul bogat pe care îl folosim pentru comunicarea stărilor noastre sufle-

teşti este un semn evident al unui mod de descriere tipic complementar, corespunzător unei schimbări continue a obiectului asupra căruia este concentrată atenţia noastră.

În comparaţie cu extinderea modului mecanic de descriere impus de considerarea individualităţii fenomenelor atomice, integritatea organismului şi unitatea personalităţii ne impun o generalizare mai largă a cadrului de aplicare raţională a mijloacelor noastre de comunicare. În legătură cu aceasta, este de notat că se păstrează distincţia dintre subiect şi obiect, distincţie necesară pentru o descriere univocă. În acest sens, în orice comunicare în care este vorba de noi înşine vom introduce, ca să spunem aşa, un nou subiect care nu apare ca parte în conţinutul comunicării. Este necesar să remarcăm faptul că însăşi această libertate de alegere a separării între subiect şi obiect, este aceea care creează multiplicitatea fenomenelor conştiente şi bogăţia posibilităţilor vieţii umane.

Atitudinea în faţa problemelor generale ale cunoaşterii la care ne-a condus dezvoltarea fizicii din secolul nostru diferă în mod esenţial de atitudinea faţă de astfel de probleme din vremea lui Stensen. Aceasta nu înseamnă că noi am abandonat drumul pe care l-a urmat el cu atîta succes pentru îmbogăţirea cunoştinţelor. Noi am înţeles că eforturile către frumuseţe şi armonie, care caracterizează întreaga, operă a lui Niels Stensen, cer însă o revizuire continuă a condiţiilor de bază şi a mijloacelor noastre de comunicare.

Tabla de materii

Cuvînt înainte 5

Prefață 11

Introducere 13

I

Lumina și viața

Expunere la ședința de deschidere a Congresului internațional de terapie cu radiații luminoase (Copenhaga, august 1932). Apărut în „Nature" **131,** 421, (1933) . . 15

II

Biologia și fizica atomică

Expunere la Congresul de fizică și biologie în memoria lui Luigi Galvani (Bologna, octombrie, 1937) . . 26

III

Filozofia naturii și culturile umane

Expunere la Congresul internațional de științe antropologice și etnologice (Copenhaga), ținută la o întrunire din castelul Kronborg, Elsinore, august 1938. Apărut în „Nature" **143,** 268, (1939). 37

IV

Convorbiri cu Einstein asupra problemelor epistemologice din fizica atomică

Contribuţie la cartea *Albert Einstein: Om de ştiinţă-Filozof.* Biblioteca filozofilor în viaţă, Evanston, Illinois, vol. 7, 1949, p. 199 47

V

Unitatea cunoaşterii

Expunere la o conferinţă în legătură cu bicentenarul Universităţii Columbia, New York (octombrie, 1954). Apărut în *Unitatea cunoaşterii,* Doubleday and Co., New York, 1955, p. 47 90

VI

Atomii şi cunoaşterea umană

Expunere la o întrunire a Academiei Regale Daneze de Ştiinţe (Copenhaga, octombrie, 1955) 109

VII

Fizica şi problema vieţii

Articol completat în 1957 şi bazat pe o prelegere ţinută la Societatea Medicală Daneză (Copenhaga, februarie, 1949) 122

Redactor : DINU IOANIȚIU-NECHITA
Tehnoredactor : VICTORIA STĂNCULESCU

Dat la cules 21.IX.1968. Bun de tipar 14.04.1969. Apărut 1969. Tiraj 3800 + 140 ex. legate. Hîrtie scris I A de 63g/m². Format 16/54×84. Coli editoriale 6,88. Coli tipar 8.50 A 10582/1968 Indice de clasificare zecimală : pentru bibliotecile mari 539, pentru bibliotecile mici 53

Întreprinderea Poligrafică Informația Republica Socialistă România Comanda nr. 402

Lucrarea înmănunchează cîteva eseuri ale lui N. Bohr (laureat al Premiului Nobel pentru fizică), în care se prezintă aspectele esențiale din fizica cuantică și, în același timp, se subliniază asemănările cu alte domenii ale cunoașterii. Șase dintre eseuri sînt scrise pe baza unor expuneri ale autorului la diverse congrese sau conferințe. Al șaptelea, **Convorbiri cu Einstein asupra problemelor epistemologice din fizica atomică,** are cea mai mare întindere și dezbate probleme majore ca : principiul complementarității, problema relațiilor dintre determinism și cauzalitate în fizica cuantică etc.

Întreaga lucrare este deosebit de interesantă și are un caracter informativ de cea mai largă accesibilitate. Ea se adresează fizicienilor, chimiștilor, filozofilor, biologilor sau antropologilor cu preocupări teoretice și, în general, tuturor celor interesați în dezbateri de idei, textul fiind aproape complet lipsit de aparat matematic.

EDITURA ȘTIINȚIFICĂ